

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Oleksa

**KOMUNIKACIJSKE, NAVIGACIJSKE I
NADZORNE USLUGE U ZRAČNOJ PLOVIDBI**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 20. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Usluge u zračnoj plovidbi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4467

Pristupnik: **Ivan Oleksa (0119021220)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Komunikacijske, navigacijske i nadzorne usluge u zračnoj plovidbi**

Opis zadatka:

Zadatak završnog rada jest izvršiti identifikaciju i analizu komunikacijskih, navigacijskih i nadzornih usluga u zračnoj plovidbi. Potrebno je identificirati i izvršiti analizu komunikacijskih sustava te izvršiti opis pružanja komunikacijskih usluga u zračnoj plovidbi. Potrebno je identificirati i izvršiti analizu navigacijskih sustava te izvršiti opis pružanja navigacijskih usluga u zračnoj plovidbi. Potrebno je identificirati i izvršiti analizu nadzornih sustava te izvršiti opis pružanja nadzornih usluga u zračnoj plovidbi.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Tomislav Mihetec

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**KOMUNIKACIJSKE, NAVIGACIJSKE I
NADZORNE USLUGE U ZRAČNOJ PLOVIDBI**

**COMMUNICATIONS, NAVIGATION AND
SURVEILLANCE IN AIR NAVIGATION
SERVICES**

Mentor: doc. dr. sc. Tomislav Mihetec

Student: Ivan Oleksa
JMBAG: 0119021220

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi predstavljaju temelj sigurnosti u zračnoj plovidbi. Uz njih se koriste i sustavi za povećanje sigurnosti. Bez primjene navedenih sustava upravljanje zračnim prostorom te samim protokom zračnog prometa bilo bi znatno otežano, a u nekim slučajevima i nemoguće. Temelj svih sustava čini razmjena podataka putem elektromagnetskih radiovalova između zemaljskih, zrakoplovnih i satelitskih stanica. Napretkom tehnologije pojavljuju se novi napredniji sustavi koji omogućuju prijenos veće količine podataka u kraćem vremenu. Kako bi sustav bio jednoznačno definiran za sve sudionike, pravila korištenja propisuje Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva. Istražena je primjena navedenih sustava u zračnoj plovidbi, propisi koji obavezuju sve sudionike na njihovu primjenu te razvoj novih sustava.

KLJUČNE RIJEČI: komunikacija, navigacija, nadzor, Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva, kontrola zračnog prometa

SUMMARY

Communications, Navigation and Surveillance in Air Navigation Services are fundamental to safety in Air Traffic. There are also other systems used together to increase the level of safety. Without these systems it would be rather hard or even impossible to manage airspace and air traffic flow. In order to make all of this possible, radiowaves are used to transmit data between ground and air stations. Thanks to technological development, new improved systems are being implemented and they allow transfer of larger data volumes in less time. To make it all useable by everyone concerned, International Civil Aviation Organization have set the rules which must be obeyed by all users. Main research points are application of systems in Air Navigation Services, regulations that commit all users to apply them and development of new systems.

KEYWORDS: Communications, Navigation, Surveillance, International Civil Aviation Organization, Air Traffic Control

SADRŽAJ

1 UVOD	1
2 KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI	2
2.1 Arhitektura komunikacijskih sustava	2
2.1.1 Ukratko o radio valovima	2
2.1.2 Povijesni razvoj komunikacijskih sustava	3
2.2 Podjela komunikacijskih mreža	5
2.2.1 Zrakoplovna fiksna usluga	5
2.2.2 Zrakoplovna pokretna usluga	8
2.2.3 Zrakoplovna radio navigacijska usluga	10
2.2.4 Zrakoplovne emisije	11
3 NAVIGACIJSKI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI	12
3.1 Navigacijski uređaji	12
3.1.1 Zemaljski navigacijski uređaji	14
3.1.2 Satelitski navigacijski uređaji	18
3.2 Navigacijski sustavi za prilaz i slijetanje	20
3.3 Global Air Navigation Plan	22
3.3.1 Koncept navigacije prema letnim sposobnostima zrakoplova	23
3.3.2 Operacije kontinuiranog spuštanja i penjanja	25
4 NADZORNI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI	26
4.1 Nadzorni uređaji	28
4.1.1 Radari	28
4.1.2 Sustavi za automatski nadzor	32
4.2 Primjena nadzornih sustava	35
5 SUSTAVI ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI U ZRAČNOM PROMETU	36
6 ZAKLJUČAK	41
POPIS LITERATURE	44
POPIS KRATICA	46
POPIS SLIKA	48
POPIS TABLICA	48

1 UVOD

Komunikacijske, navigacijske i nadzorne usluge u zračnoj plovidbi pružaju za to ovlašteni subjekti na osnovu razmjene podataka između više jedinica na tlu te zrakoplovne ili satelitske stanice. Kao nositelje podataka koriste se radiovalovi koji, zahvaljujući svojoj velikoj brzini, omogućavaju gotovo trenutnu razmjenu podataka. Na taj način svi subjekti uključeni u zračnu plovidbu imaju predodžbu o stanju u zračnom prostoru, gotovo u stvarnom vremenu. Kako bi to bilo moguće, postoje različiti sustavi koji to omogućavaju. Cilj završnog rada je identificirati te sustave te napraviti analizu i opis pružanja usluge. U skladu s navedenim, završni rad je podijeljen u sljedeća poglavlja:

1. Uvod
2. Komunikacijski sustavi u zračnoj plovidbi
3. Navigacijski sustavi u zračnoj plovidbi
4. Nadzorni sustavi u zračnoj plovidbi
5. Sustavi za povećanje sigurnosti u zračnom prometu
6. Zaključak

Temelj prijenosa podataka, radiovalovi, opisani su u drugom poglavlju kao i komunikacijski sustavi koji omogućuju razmjenu podataka između dva ili više subjekata na zemlji i(li) u zraku, na osnovu propisa Organizacije međunarodnog civilnog zrakoplovstva.

Kako navođenje zrakoplova koji lete na velikim visinama nije jednostavna zadaća, razvijeni su različiti navigacijski sustavi koji omogućuju instrumentalno navođenje zrakoplova u prostoru, a opisani su u trećem poglavlju.

U četvrtom poglavlju opisanu su sustavi koji primarno pružaju informacije stanicama na zemlji o situaciji u zraku, posebice su korisni na područjima u blizini zračnih luka, a nazivaju se nadzorni sustavi.

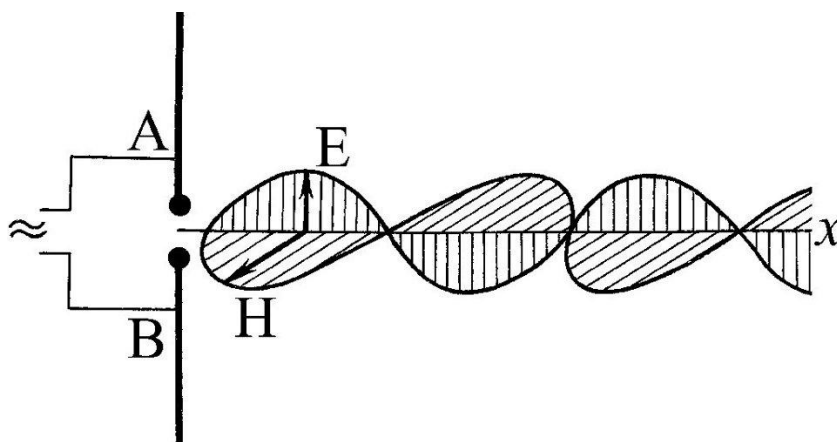
Dodatni sigurnosni sustavi koji u slučaju otkazivanja svih ostalih sustava u svrhu sprječavanja izravnih konflikata, primjerice, u zraku, navedeni su u petom poglavlju.

2 KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI

2.1 Arhitektura komunikacijskih sustava

2.1.1 Ukratko o radio valovima

Komunikacija, odnosno slanje signala između uređaja odvija se putem radio valova koji su samo dio spektra elektromagnetskog zračenja. James Clerk Maxwell utvrdio je da promjenjivo magnetsko polje proizvodi električno, a promjenjivo električno polje – magnetsko. Takav proces uzajamnog proizvođenja električnog i magnetskog polja širi se u prostoru, a upravo je to širenje elektromagnetski val u najširem smislu.¹ Grafički prikaz širenja prikazan je na slici 1.



Slika 1. Elektromagnetski val

Izvor: Hrvatska enciklopedija,

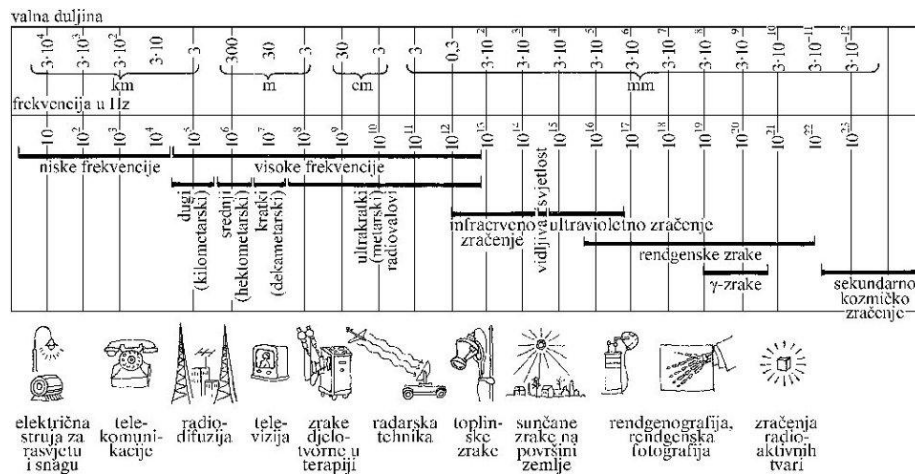
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17633>(02.09.2018.)

Radiovalovi spadaju u dio spektra elektromagnetskog zračenja najvećih valnih duljina i najmanjih frekvencija, kao što je i vidljivo na slici 2. Valne duljine radiovalova kreću se u rasponu od približno 30 km do 1 mm, što znači da se iznosi frekvencija kreću u rasponu od 10 kHz do 3000 GHz.²

Radiovalovi su pogodni za korištenje u telekomunikacijama ponajviše zbog njihovih svojstava širenja u atmosferi. Valovi nižih frekvencija („mikrovalovi“) reflektiraju se od ionosfere (sloj atmosfere između 60 i 1000 km visine) dok se valovi viših frekvencija propagiraju kroz ionosferu te dolaze do satelita, koji se nalaze u geostacionarnoj orbiti te ostvaruju razmjenu signala između više jedinica na zemlji. Kako bi cjelokupna razmjena impulsa i signala bila moguća, potrebno je posjedovati kalibrirane uređaje, pazeći pritom na moguću pojavu smetnji i neovlaštenog pristupa informacijama.

¹<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17633>(02.09.2018.)

²<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51511>(02.09.2018.)



Slika 2. Spektar elektromagnetskih valova

Izvor: Hrvatska enciklopedija,

<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17633> (02.09.2018.)

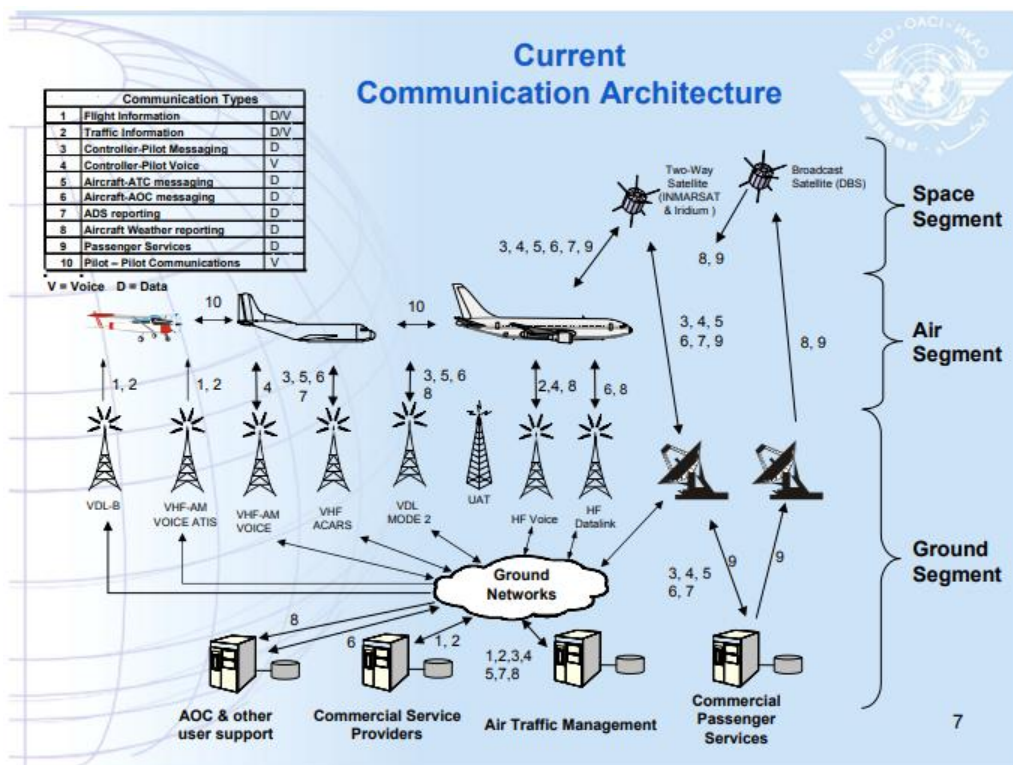
2.1.2 Povijesni razvoj komunikacijskih sustava

Gledajući povijesni razvoj, komunikacija, ali i ostale dvije grane, navigacija i nadzor u zračnoj plovidbi dobivaju na visokoj važnosti početkom Prvog svjetskog rata, kada se uspostavljaju prve „zrak-zrak“ te „zemlja-zrak“ komunikacijske veze. Nakon ulaganja i razvoja u vojne svrhe, na kraju Prvog svjetskog rata, u 20-im godinama prošlog stoljeća, komunikacija dobiva na značaju i u civilnoj avijaciji, ponajviše zbog potrebe savladavanja letenja u uvjetima kada tlo nije vidljivo. Nešto kasnije, u 30-ima, uspješno je izvedeno prvo „slijepo“ slijetanje korištenjem isključivo radijskih uređaja. Zbog nepogodnosti nisko- (*Low Frequency* - LF) i srednjefrekventnih (*Medium Frequency* - MF) valova noću i u lošim vremenskim uvjetima, počinju se koristiti visokofrekventni (*High Frequency* - HF) radio valovi.

Razvoj zrakoplovstva se uglavnom temeljio na prijevozu putnika i pošte, sve do doba Drugog svjetskog rata kada se uz vojni segment užurbano razvija i radio komunikacija. Tada je najveći problem predstavljala veličina same opreme koja se smještala u zrakoplove, koja je usprkos tome bila nužna. Razdoblje je obilježila i primjena uređaja koji koriste vrlo visoke frekvencije (*Very High Frequency* – VHF).

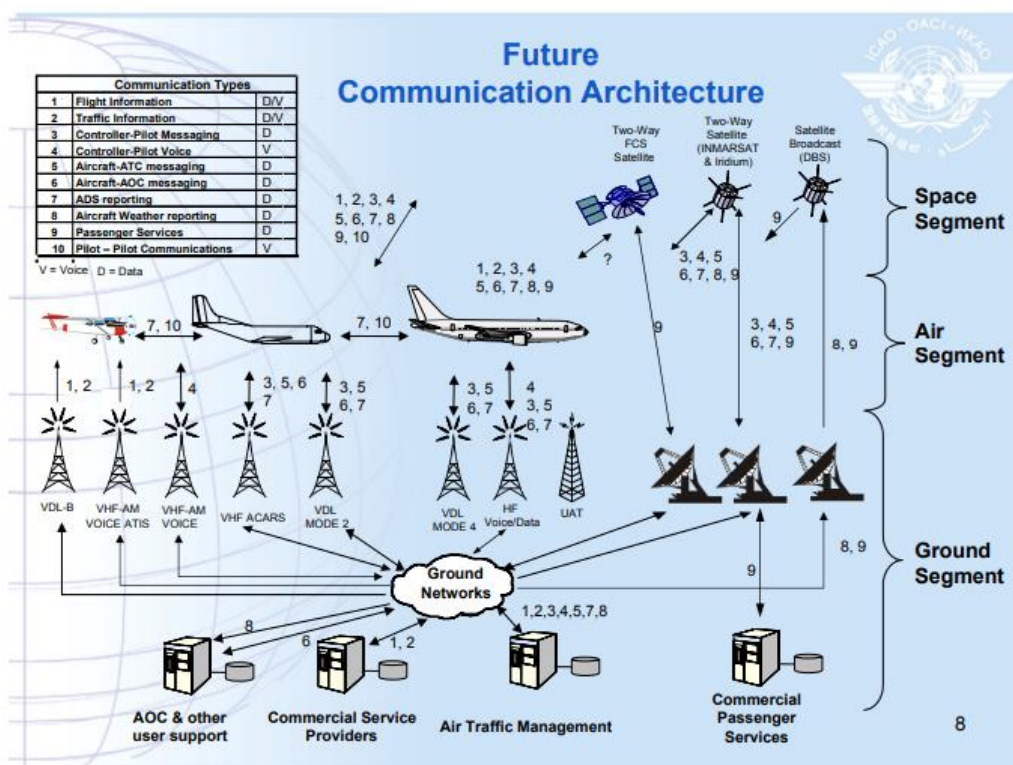
Daljnjim napretkom tehnologije i uvođenjem tranzistora u uporabu, oprema postaje sve kompaktnija i kvalitetnija, posebice kasnijim pokretanjem svemirskih programa i lansiranjem komunikacijskih satelita.³ Slikom 3. prikazan je status trenutne arhitekture komunikacijskih sustava (2009.), dok je planirani razvoj arhitekture prikazan slikom 4.

³Federal Aviation Administration: *Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe*, 2012., p. 11-3



Slika 3. Trenutno stanje infrastrukture komunikacijskih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 7



Slika 4. Buduće stanje infrastrukture komunikacijskih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 8

2.2 Podjela komunikacijskih mreža

Komunikacijske mreže dijele se prema subjektima koji sudjeluju u komunikaciji. Ukoliko se radi o komunikaciji između kontrole zračnog prometa i zrakoplova, govori se o „zemlja-zrak“ komunikaciji, dok se komunikacija „zemlja-zemlja“ odnosi na komunikaciju između više kontrola zračnog prometa i zrakoplovnih prijevoznika.

Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) u svom Aneksu 10 dijeli Međunarodnu zrakoplovnu telekomunikacijsku službu (*International Aeronautical Telecommunication Service* – IATS) na četiri dijela:

1. Zrakoplovna fiksna usluga (*Aeronautical Fixed Service* – AFS)
2. Zrakoplovna pokretna usluga (*Aeronautical Mobile Service* – AMS)
3. Zrakoplovna radio navigacijska usluga (*Aeronautical Radio Navigation Service* – ARNS)
4. Zrakoplovne emisije (*Aeronautical Broadcasting Service* – ABS)⁴

2.2.1 Zrakoplovna fiksna usluga

Zrakoplovna fiksna usluge koristi se u međunarodnoj „zemlja-zemlja“ komunikaciji između jedne ili više fiksnih točaka na zemlji, primarno u svrhu sigurnosti zračne plovidbe, ali i za redovno, učinkovito i ekonomično pružanje usluga u zračnom prometu. Sastoji se od više sustava za razmjenu podataka podatkovnom ili govornom vezom:

1. između pružatelja usluga u zračnoj plovidbi
2. Meteorološka mreža i sustavi emitiranja
3. Zrakoplovna fiksna telekomunikacijska mreža (*Aeronautical Fixed Telecommunication Network* – AFTN)
4. Mreža za razmjenu općih ICAO podataka (*Common ICAO Data Interchange Network* – CIDIN)
5. Služba za rukovanje porukama (*Air Traffic Services Message Handling Services* – ATSMHS)
6. Mreža za komunikaciju između centara (*Inter-centre Communication* – ICC)⁵

Mreža za direktan govor služi za izravnu razmjenu podataka putem telefonske linije, dok se meteorološke mreže koriste za razmjenu informacija o meteorološkim uvjetima između fiksnih stanica AFS mreže.⁶

Zrakoplovna fiksna telekomunikacijska mreža kao dio AFS-a služi za razmjenu tekstualnih poruka ili digitalnih podataka (u slučaju da su obje strane opremljene potrebnom opremom) između subjekata kao što su pružatelji usluga u zračnom prometu, nadležna tijela zračne luke, vladine organizacije i sl. S obzirom na to da su počeci korištenja bili u 50.

⁴ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001., p. 2-1

⁵Ibid., p. 4-1

⁶Ibid., p. 1-4

godinama prošlog stoljeća, smatra se prvim sustavom za razmjenu poruka u velikim razmjerima.⁷ Poruke koje se koriste u AFTN sustavu su unificirane, pa tako svaka kategorija poruke nosi svoju oznaku prema kategoriji prioriteta. Pregled tipova i oznaka prioriteta poruka razvrstan prema stupnju prioriteta prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Vrste AFTN poruka

Vrsta poruke	Oznaka prioriteta
Poruka opasnosti	SS
Poruka hitnosti	DD
Poruke sigurnosti leta	FF
Meteorološke poruke	GG
Poruke regularnosti leta	GG
Poruke usluga zrakoplovnih informacija	GG
Poruke zrakoplovne administracije	KK
Poruke zahtijevanja informacija	Ovisno o zahtjevu
Servisne poruke	Prema prikladnosti

Izvor: ICAO: Annex 10, Aeronautical Telecommunications, Vol. II., 2001 p. 4-23

Poruke najvišeg prioriteta su poruke opasnosti zaprimljene s mobilnih stanica koje se zatim prosljeđuju AFTN-om. Šalje ih posada zrakoplova koji se nalazi u neposrednoj opasnosti te potrebuje trenutnu pomoć. Poruke hitnosti odnose se na vozila u vidokrugu koja zahtijevaju pomoć ili je traže za osobu koja se ondje nalazi. Poruke sigurnosti leta odnose se na poruke vezane za kretanje i kontrolu zrakoplova, poruke o zrakoplovu u letu ili koji je u pripremi za polijetanje te poruke o važnim, izvanrednim meteorološkim uvjetima, dok se meteorološke poruke koriste za vremenske prognoze i trenutna zapažanja, primjerice na samom aerodromu, području ili ruti leta. Poruke o regularnosti leta mogu sadržavati čitav niz informacija poput podataka o teretu u zrakoplovu potrebnih za balansiranje zrakoplova; promjena u redovnom operativnom rasporedu zrakoplova; servisiranju zrakoplova i sl. Poruke zrakoplovnih informacija sastoje se od obavijesti zrakoplovnom osoblju (*Notice to Airmen* – NOTAM) ili posebnim obavijestima u slučaju posebnih uvjeta vezanih za snijeg (*SNOWTAM*). Administrativne poruke odnose se na održavanje zrakoplova, funkcioniranje sustava za telekomunikaciju i informiranja civilnih tijela o zrakoplovnim uslugama. Poruke zahtijevanja informacija imaju različite kategorije prioriteta iz razloga ovisnosti tematike upita. Ukoliko se radi o situaciji opasnosti ili sigurnosti leta, mogu poprimiti i najviši stupanj prioriteta. Servisne poruke se uglavnom odnose na poruke poslane od strane fiksnih stanica u svrhu provjere već poslanih poruka, kako bi se potvrdila sumnja da je poslana neispravna poruka ili da je poruka poslana na krivu adresu, te se samim time prioritet dodjeljuje ovisno o prioritetu već poslanih poruka.⁸

Adresa poruke poslane AFTN-om sastoji se od osam znakova od kojih prva četiri označuju destinaciju zrakoplova (npr. Zagreb – LDZA), zatim tri znaka koja označavaju organizaciju prema kojoj se šalje (npr. Croatia Airlines – CTN) i dodatno slovo, ukoliko

⁷<https://www.eurocontrol.int/articles/amc-and-european-aeronautical-fixed-service-afs> (02.09.2018.)

⁸ICAO: Annex 10, Aeronautical Telecommunications, Vol. II., 2001, p. 4-3

postoji potreba, za određeni odjel (ukoliko ne postoji, stavlja se slovo X).⁹ U nastavku slijedi primjer adresiranja AFTN poruke s objašnjenjem pojedinih dijelova:

ZCZC LAA000
GG LDZAYYYX
311100 EGLLYYYYX
tekst poruke

NNNN

U prikazanom primjeru adresiranja oznaka ZCZC označava signal početka poruke, LAA000 je identifikacija transmisije. Oznaka GG označava prioritet poruke, a navodi se u retku primatelja poruke, u gornjem slučaju Međunarodne zračne luke Franjo Tuđman (LDZA) dok oznaka YYY označava pružatelja usluga na navedenoj zračnoj luci za let na koji se poruka odnosi. Datum i vrijeme slanja poruke iskazuje se brojevima, u gornjem slučaju 311100, gdje 31 označava 31. dan u mjesecu, a 1100 vrijeme (11:00 UTC). Uz vremensku oznaku stoji i oznaka pošiljatelja poruke, u gornjem slučaju Zračna luka London Heathrow (EGLL), također službe pružatelja usluge za let na koji se poruka odnosi (YYY). Zatim slijedi tekst poruke, a oznaka NNNN označava završetak poruke.

Mreža za razmjenu općih ICAO podataka sastoji se od aplikacija te komunikacijskih servisa za razmjenu poruka na razini „zemlja-zemlja“, s glavnim ciljem poboljšanja AFTN sustava i podrške za prijenos vrlo velikih poruka i zahtjevnijih aplikacija poput operativnih meteoroloških informacija.

Služba za rukovanje porukama koristi Internet telekomunikacijsku mrežu za razmjenu ATS poruka između korisnika. Glavni povod za uvođenje ATSMHS-a bila je zastarjela tehnologija te ograničene mogućnosti AFTN/CIDIN-a te je ICAO u ranim 2000-im godinama uveo ATSMHS kao moderan sustav „zemlja-zemlja“ razmjene poruka.¹⁰

Aplikacije mreže za komunikaciju između centara koriste se u razmjeni poruka između korisnika ATS-a preko Zrakoplovne telekomunikacijske mreže (*Aeronautical Telecommunication Network* – ATN), a koriste se za razmjenu operativnih poruka poput: obavijesti o letu, koordinaciji leta, prijenosu kontrole zračnog prometa i komunikacije, planiranja leta, upravljanja zračnim prostorom i protokom zračnog prometa.¹¹

⁹ ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 4-14

¹⁰ <http://www.eurocontrol.int/articles/air-traffic-services-message-handling-system-amhs-specification> (02.09.2018.)

¹¹ ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 4-28

2.2.2 Zrakoplovna pokretna usluga

Kod pokretne, odnosno mobilne usluge razlikuje se komunikacija između zemaljskih stanica sa stanicama na zrakoplovu te između stanica na zrakoplovima. Također se razlikuje izmjena poruka glasovnim putem ili putem podatkovne veze (*Data-link*).

Kao i kod poruka u fiksnoj mreži, postoje različite kategorije poruka sa zadanim prioritetima. Podjela prema prioritetima iskazana je u tablici 2. s napomenom da poruke vezane za neovlašteno ometanje zrakoplova čine posebnu kategoriju poruka za koje su definirane posebne procedure.

Tablica 2. Poruke u zrakoplovnoj pokretnoj usluzi

Vrsta poruke	Radiotelefonski signal
Poziv/poruka/promet u opasnosti	MAYDAY
Poruke hitnosti (uključujući medicinski slučaj)	PAN, PAN ili PAN, PAN MEDICAL
Komunikacija pri traženju smjera	-
Poruke sigurnosti leta	-
Meteorološke poruke	-
Poruke regularnosti leta	-

Izvor: ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 5-1

Generalno je pravilo da se u slučaju kada jedna strana (bilo kontrolor zračnog prometa ili pilot) započne komunikaciju glasovnim ili podatkovnim putem, odgovor se mora dati istim putem osim u slučaju kada pilot pošalje poruku u nuždi putem podatkovne veze (*Controller Pilot Data-Link Communication – CPDLC*), kontrolor zračnog prometa ima pravo odabrati najefikasniji način komunikacije.¹²

Kako bi se izbjegli problemi s brojevima i slovima koji se slično izgovaraju, ali i jezičnih navika korisnika, propisano je da se koriste posebni izrazi na službenom uporabnom jeziku (engleski jezik) koji su prikazani u tablici 3. (slova) te tablici 4. (brojevi).

¹²ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 5-3

Tablica 3. Fonetska abeceda u zrakoplovnoj komunikaciji

Letter	Word	Approximate pronunciation	
		International Phonetic Convention	Latin alphabet representation
A	Alfa	'ælfə	<u>AL</u> FAH
B	Bravo	'bra:və	<u>BRAH</u> VOH
C	Charlie	'tʃɑ:li or 'ʃɑ:li	<u>CHAR</u> LEE or <u>SHAR</u> LEE
D	Delta	'delta	<u>DELL</u> TAH
E	Echo	'eko	<u>ECK</u> OH
F	Foxtrot	'fɒkstrot	<u>FOKS</u> TROT
G	Golf	gʌlf	GOLF
H	Hotel	ho:'tel	HO <u>TELL</u>
I	India	'indi-ə	<u>IN</u> DEE AH
J	Juliett	'dʒu:li.'et	<u>JEW</u> LEE <u>ETT</u>
K	Kilo	'ki:lo	<u>KEY</u> LOH
L	Lima	'li:mə	<u>LEE</u> MAH
M	Mike	maɪk	MIKE
N	November	no'vembə	NO <u>VEM</u> BER
O	Oscar	'ɒskə	<u>OSS</u> CAH
P	Papa	pə'pə	PAH <u>PAH</u>
Q	Quebec	ke'bek	KEH <u>BECK</u>
R	Romeo	'ro:mi-ə	<u>ROW</u> ME OH
S	Sierra	si'era	SEE <u>AIR</u> RAH
T	Tango	'tæŋɡo	<u>TANG</u> GO
U	Uniform	'ju:nifo:m or 'u:nifo:m	<u>YOU</u> NEE FORM or <u>OO</u> NEE FORM
V	Victor	'vɪktə	<u>VIK</u> TAH
W	Whiskey	'wɪski	<u>WISS</u> KEY
X	X-ray	'eks'rei	<u>ECKS</u> RAY
Y	Yankee	'jæŋki	<u>YANG</u> KEY
Z	Zulu	'zu:lu:	<u>ZOO</u> LOO

Note.— In the approximate representation using the Latin alphabet, syllables to be emphasized are underlined.

Izvor: ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 5-4

Tablica 4. Izgovor brojeva u zrakoplovnoj komunikaciji

<i>Numeral or numeral element</i>	<i>Pronunciation</i>
0	ZE-RO
1	WUN
2	TOO
3	TREE
4	FOW-er
5	FIFE
6	SIX
7	SEV-en
8	AIT
9	NIN-er
Decimal	DAY-SEE-MAL
Hundred	HUN-dred
Thousand	TOU-SAND

Izvor: ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 5-5

Kako bi komunikacija bila svrsishodna, napravljena je i podjela frekvencija kako upute određenim pilotima ne bi ometale druge pilote. Općenito, koristi se VHF raspon frekvencija u frekvencijskom opsegu od 118 – 137 MHz, i HF veza u opsegu 2.85-28.35 MHz. Prolaskom kroz različita područja piloti komuniciraju s više kontrolora zračnog

prometa od kojih je svaki zadužen za svoj operativni sektor zračnog prostora, pa se tako pilotima prilikom prelaska u sektor za koji je nadležan drugi kontrolor zračnog prometa, dodjeljuje druga frekvencija na kojoj se obavlja komunikacija. Izuzeće navedenom pravilu je frekvencija od 121.5 MHz koja se koristi za hitne slučajeve i na koju svi sudionici zračnog prometa moraju obraćati pozornost. Daljnju komunikaciju u hitnom slučaju moguće je nastaviti na prikladnijoj frekvenciji kako se ostali promet ne bi ometao. U takvim je situacijama najvažnije ostati sabran te komunicirati smireno i jasno, kako se ne bi gubilo vrijeme na ponavljanje instrukcija.¹³

Kako bi se pojednostavila usmena komunikacija, ustalile su se, a kasnije i propisale određene fraze, poput fraze za završetak transmisije (*OVER*), fraze za dopuštenje akcije pod dogovorenim uvjetima (*CLEARED*), fraze zahtjeva za ponavljanjem poruke (*READ BACK*) i sl.

Kod CPDLC-a komunikacija je nešto drugačija. Sustav mora obavijestiti obje strane u slučaju postojanja mogućnosti za podatkovni prijenos komunikacije te ukoliko se ista uspostavi ili ne uspije uspostaviti. Poruke poslane preko CPDLC-a je moguće promijeniti i ispraviti u slučaju pogreške usmenom komunikacijom, a svaka poruka mora sadržavati attribute razine obavijesti te zahtjeva za odgovor.

2.2.3 Zrakoplovna radionavigacijska usluga

Svrha zrakoplovne radionavigacijske usluge je siguran let zrakoplova, a sastoji se od svih radio navigacijskih sredstava koji su u službi međunarodne zrakoplovne mreže. Sustav funkcionira na određivanju pozicije, smjera i brzine zrakoplova te po zahtjevu stanice na zrakoplovu, može proslijediti iste podatke prema zrakoplovu. Ukoliko jedna zemaljska stanica ne može utvrditi sve podatke, koriste se dvije ili više zemaljskih stanica pod nadležnosti jedne glavne. Podaci koje stanice odašilju odnose se na stvaran smjer (*True Bearing*) zrakoplova u odnosu na neku točku, stvarni smjer u kojem bi se trebao kretati zrakoplov prema zemaljskoj stanici bez utjecaja vjetrova (*True Heading*), stvarni magnetski smjer (*Magnetic Bearing*) te magnetski smjer bez utjecaja vjetrova (*Magnetic Heading*).¹⁴

¹³ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 5-13

¹⁴Ibid., p. 6-2

2.2.4. Zrakoplovne emisije

Usluge zrakoplovnih emisija odašilju se na određenim frekvencijama u određenom vremenu koje moraju biti objavljene u prikladnim dokumentima. Emisije služe za prenošenje informacija bitnih za zračnu plovību (primjerice, vremenski uvjeti na zračnoj luci slijetanja). Svaka promjena rasporeda ili frekvencije emitiranja mora se evidentirati NOTAM-om barem dva tjedna prije nastupanja promjene (osim u hitnim slučajevima).¹⁵

Na područjima oko aerodroma s gustim prometom, pruža se usluga automatskog informiranja (*Automatic Terminal Information Service* – ATIS) po rasporedu kako bi se rasteretilo kontrolore zračnog prometa. Informacije koje pružaju uglavnom se tiču trenutnih meteoroloških prilika, aktivnih uzletno-sletnih staza.¹⁶ U nastavku slijedi transkript ATIS-a amsterdamske zračne luke Schiphol preveden na hrvatski jezik:

„Schiphol informacije u dolasku L. Glavna sletna staza: 06. Tranzicijski nivo leta: 40. 040°, 09 kt (radi se o smjeru i jačini vjetra). Visina baze oblaka i vidljivost OK. (*Ceiling and Visibility OK* – CAVOK) Temperatura: -1. Temperatura rosišta: -5. Tlak zraka (da je nadmorska visina aerodroma nula u standardnoj atmosferi): 1024 hPa. Bez značajnih meteoroloških promjena. Vozna staza VS nije dostupna. Kraj informacije L.“¹⁷

¹⁵ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. II., 2001, p. 7-1

¹⁶Federal Aviation Administration: *Federal Aviation Regulations/Aeronautical Information Manual*, 2009., p. PCG A-16

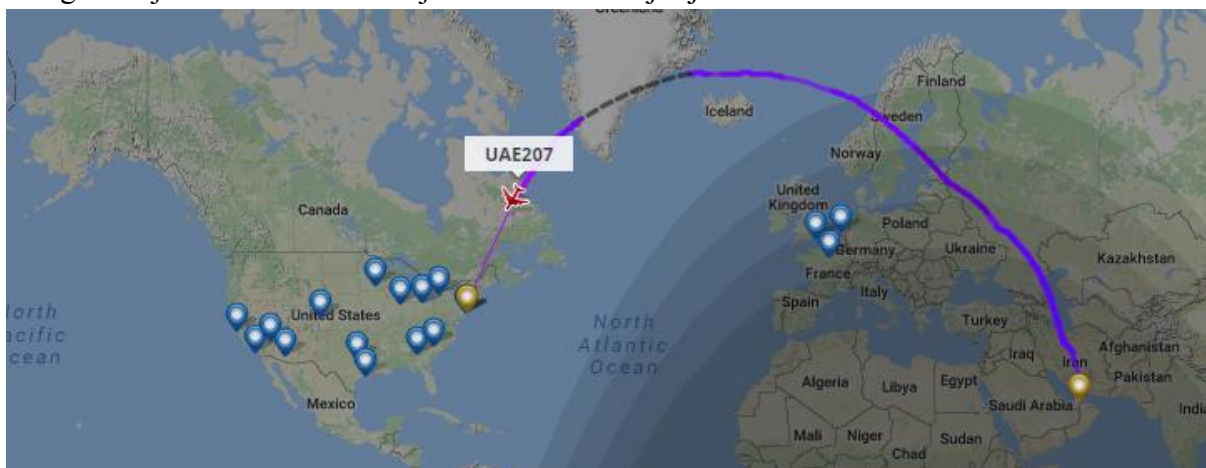
¹⁷<https://www.youtube.com/watch?v=kcBrKd55NUc&t=3s> (31.08.2018.)

3 NAVIGACIJSKI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI

3.1 Navigacijski uređaji

Termin navigacija u zračnoj plovidbi označava navođenje zrakoplova od jedne poznate pozicije do druge, a podrazumijeva slijeđenje planirane rute uspoređivanjem konstantno određivane trenutne pozicije i smjera kretanja s elementima planirane rute. Zavisno o smještaju uređaja za navigaciju, ista može biti zasnovana na zemaljskim, satelitskim i zrakoplovnim uređajima i sustavima.

Tehnološki napredak omogućio je stvaranje vrlo preciznih uređaja koji uvelike olakšavaju sam proces navigiranja zrakoplova, posebice nakon izuma radara. Vrlo je važno shvatiti zašto zrakoplovi, gledajući kartografske projekcije koje su najviše zastupljene ne lete naizgled najkraćom rutom. Primjer takve rute vidljiv je na slici 5.

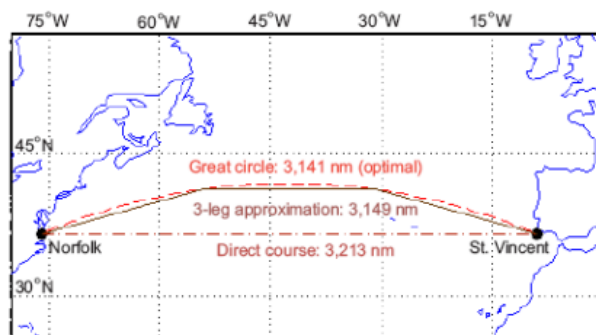


Slika 5. Ruta leta između Dubajia i New Yorka

Izvor: Flightradar24, screenshot, <https://www.flightradar24.com/UAE207/e194a07> (16.07.2017.)

Odgovor na ovo pitanje leži u činjenici da se oblik Zemlje može najbliže aproksimirati elipsoidom, odnosno spljoštenom sferom, pa je tako najkraća linija koja bi na kartografskoj projekciji povezivala ova dva grada, a zove se loksodroma (*Rhumb Line*), u stvarnosti zapravo puno duža od predstavljene rute, koja se naziva i ortodroma (*Great Circle Route*). Loksodroma meridijane siječe pod istim kutom, pa je samim time i navigacija lakša jer nema potrebe za mijenjanjem kursa, ali je put duži. Razlika u duljini putova vidljiva je i u primjeru na slici 6.¹⁸

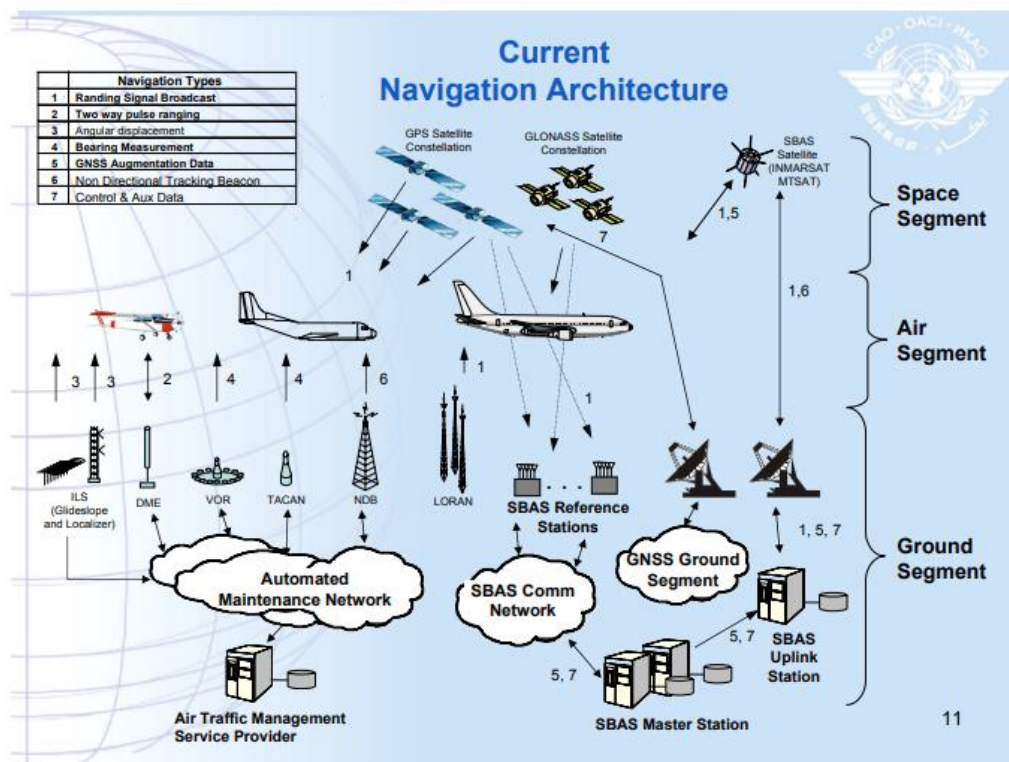
¹⁸<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=45614> (02.09.2018.)



Slika 6. Razlika u udaljenostima po ortodromi i loksodromi

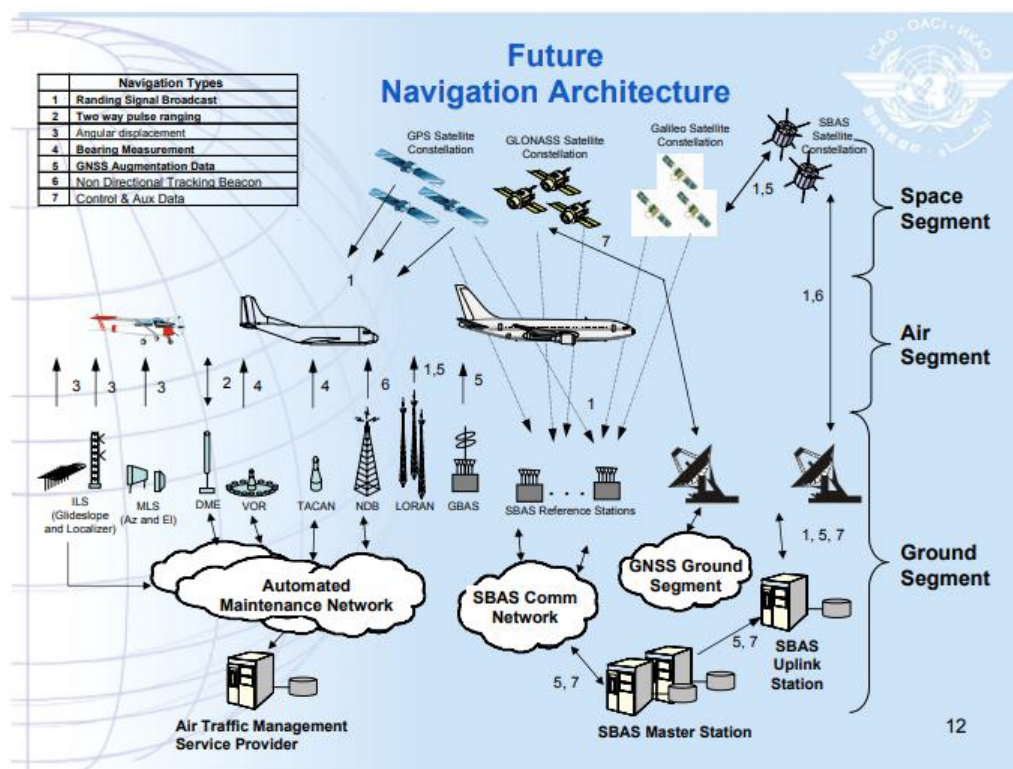
Izvor: <https://www.mathworks.com/help/map/navplan1.png> (02.09.2018.)

Trenutno stanje navigacijske infrastrukture (2009.) prikazano je slikom 7., dok je planirani razvoj navigacijske infrastrukture prikazan slikom 8.



Slika 7. Trenutno stanje infrastrukture navigacijskih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 11



Slika 8. Buduće stanje infrastrukture navigacijskih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 12

3.1.1. Zemaljski navigacijski uređaji

Kako bi zrakoplov bilo moguće navoditi po optimalnoj ruti koriste se radionavigacijski uređaji.

Radionavigacijski uređaji služe za lociranje i usmjeravanje zrakoplova. Najosnovniji sustav koji je i dalje u širokoj primjeni u zračnoj navigaciji je neusmjereni radiofar (*Non Directional Beacon* – NDB). Odašiljač neusmjerenog radiofara, čija je pozicija poznata, radi na principu emitiranja zračenja prema kojem radiokompas na zrakoplovu (*Automatic Direction Finder* – ADF) pokazuje smjer. Kako bi to bilo moguće, zrakoplov mora biti opremljen antenskim sustavom, prijemnikom te pokazivačem smjera u odnosu na lokaciju NDB-a.¹⁹ Primjer antene NDB-a prikazan je slikom 9. Pokazivač u zrakoplovu strelicom pokazuje lokaciju NDB-a u odnosu na nos zrakoplova što je prikazano slikom 10.

¹⁹Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 120



Slika 9. Antena NDB-a

Izvor: <http://www.aeroexpo.online/prod/systems-interface-limited/product-180831-25161.html> (03.09.2018.)

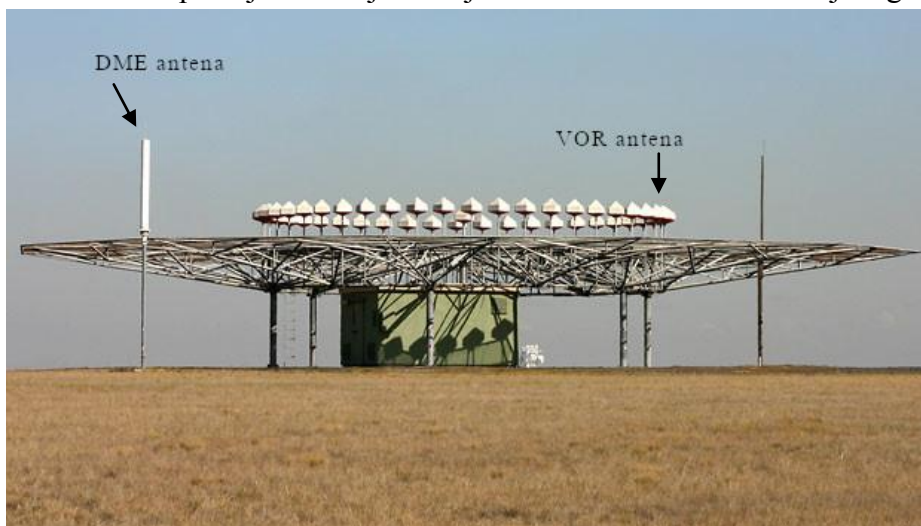


Slika 10. Pokazivač smjera NDB-a u zrakoplovu

Izvor: Federal Aviation Administration: *Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe*, 2012., p. 11-47

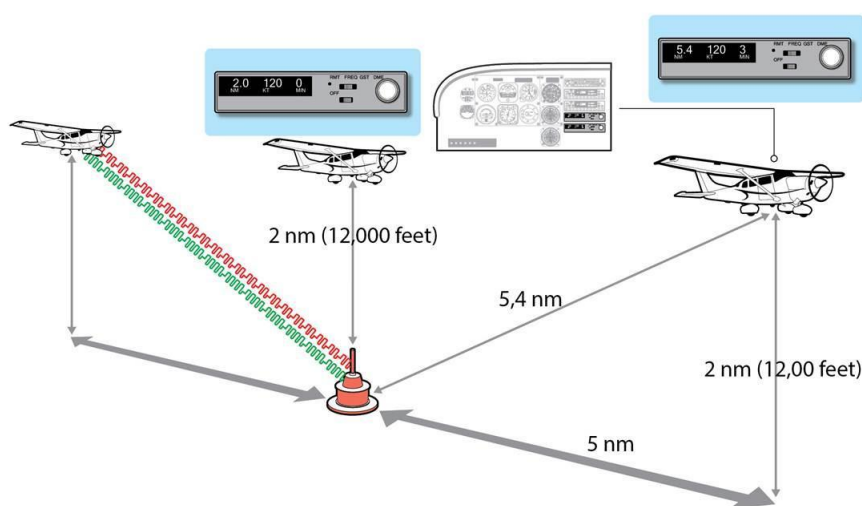
Nešto napredniji sustav od kombinacije NDB-a i ADF-a jest svesmjerni radiofar (*VHF Omnidirectional Range – VOR*). Svesmjerni radiofar također se sastoji od zemaljskog dijela i uređaja na zrakoplovu čiji prijemnik određuje podatak o pravcu prema VOR stanici. Najveća razlika je u tome što VOR odašilje signal u svih 360° dok je za NDB potrebno znati lokaciju

kako bi se moglo pratiti njegovu lokaciju iz zrakoplova. Svesmjerni radiofar se u praksi najčešće koristi zajedno s uređajem za mjerenje udaljenosti (*Distance Measuring Equipment – DME*) koji na osnovu vremena proteklog do zaprimanja impulsa sa zrakoplova računa udaljenost na kojoj se zrakoplov nalazi.²⁰ Antene VOR i DME uređaja uglavnom se postavljaju zajedno, a primjer postavljanja prikazan je slikom 11. Primjer DME uređaja zajedno s prikazom u zrakoplovu prikazan je slikom 12. Izgled pokazivača VOR-a u zrakoplovu prikazan je slikom 13., a sam pokazivač sadrži informacije o devijaciji smjera od ili prema samoj stanici VOR-a. Indikator devijacije smjera omogućuje pilotu da pravilno usmjeri zrakoplov čak i ako postoji bočni vjetar koji može skrenuti avion sa željenog smjera.



Slika 11. Antene VOR i DME sustava

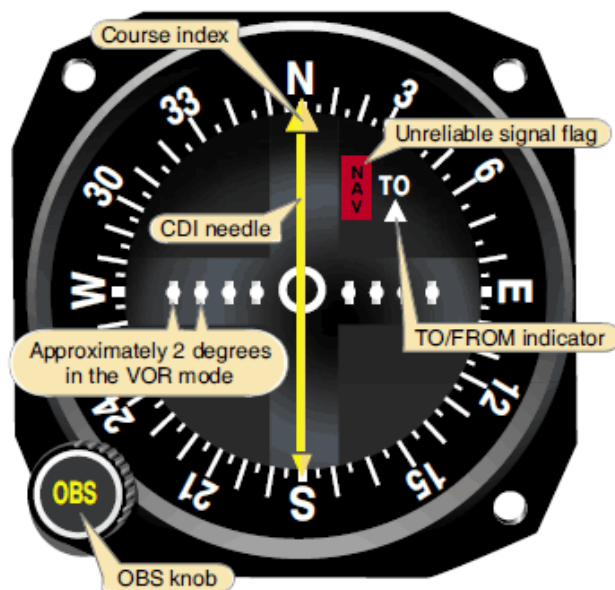
Izvor: <http://www.airwaysmuseum.com/ML%20T73A%20DVOR%2007.htm>
(03.09.2018.)



Slika 12. Prikaz udaljenosti mjerene DME uređajem

Izvor: https://www.aopa.org/-/media/images/aopa-main/news-and-media/publications/flight-training-magazine/1801f/1801f_hiw/1801f_hiw_16x9.jpg
(31.08.2018.)

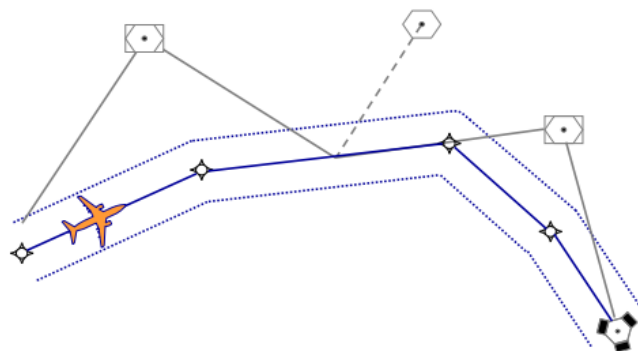
²⁰Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 122



Slika 13. Pokazivač VOR-a u zrakoplovu

Izvor: <http://www.flightlearnings.com/2012/08/02/course-deviation-indicator-cdi/>
(31.08.2018.)

Kako zbog fizičkih karakteristika površine Zemlje, ali i cijene instalacije VOR/DME uređaja nije moguće pokriti kompletnu površinu Zemlje, zrakoplovi bi i dalje morali letjeti dužim putem od onog najkraćeg mogućega. Kako bi se isto izbjeglo, uvedena je prostorna navigacija (*Area Navigation – RNAV*). Radi se o planiranju rute koja je definirana putnim točkama koje se određuju pomoću radionavigacijskih uređaja (npr. VOR/DME) te na taj način zrakoplov ne mora nužno biti usmjeren prema samom radionavigacijskom uređaju već prema zamišljenoj točki koja se nalazi u prostoru pokrivenom signalom i poznata joj je pozicija. Primjer skraćivanja puta korištenjem prostorne navigacije prikazan je na slici 14.²¹



Slika 14. Korištenje prostorne navigacije

Izvor: Eurocontrol, Airspace Concept Workshop, *What is Area Navigation?*, p.16

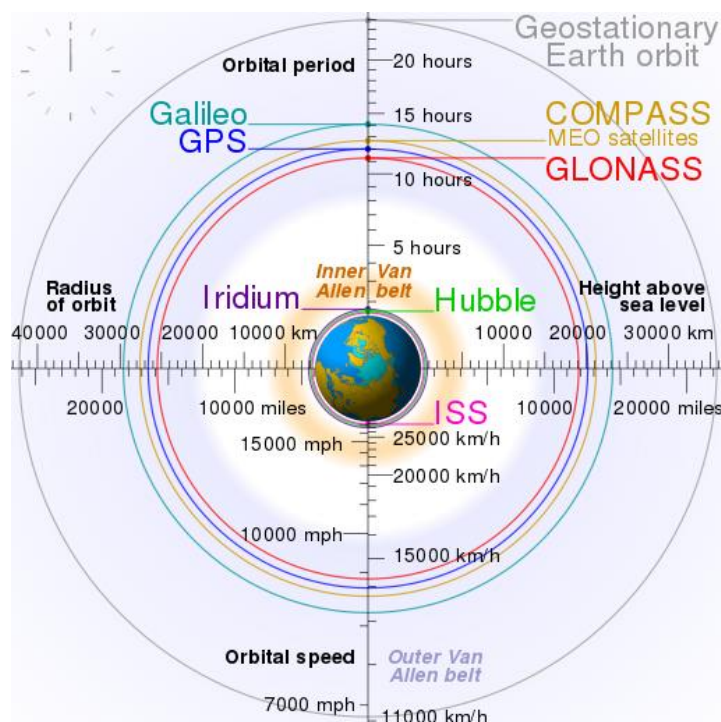
Navedeni sustavi spadaju pod azimutske sustave zbog njihova principa rada, odnosno određivanja kuta (azimuta) između uređaja na zrakoplovu i odašiljača poznate lokacije na Zemlji. Druga vrsta radionavigacijskih uređaja naziva se hiperbolni sustavi iz razloga što se

²¹Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 42

pozicija objekta određuje iz definicije hiperbole. Pozicija prijemnika određuje se u razlici vremena pristizanja signala s presjecišta zadanog para hiperbola čije su koordinate fokusa poznate i u kojima se nalaze odašiljači.²² Hiperbolni sustav koji se koristio u radionavigaciji bio je Loran-C čiji su posljednji odašiljači u Europi ugašeni krajem 2015. godine²³, ponajviše zbog cijene ugradnje odašiljača i prijemnika koja nije ekonomična, ali i sve veće zastupljenosti satelitskih sustava.

3.1.2. Satelitski navigacijski uređaji

Najprecizniji, tehnološki najnapredniji te povijesno gledano, najnoviji sustavi radionavigacije upravo su satelitski navigacijski sustavi. U svijetu postoji nekoliko satelitskih sustava, koji pod ICAO-om imaju zajednički naziv Globalni satelitski navigacijski sustav (*Global Navigation Satellite System – GNSS*), a obuhvaća američki sustav za globalno pozicioniranje (*Global Positioning System – GPS*), ruski GLONASS (*Globalnaja Navigacionaja Sputnjikova Sistema*), europski Galileo te sustave unaprjeđenja (*Satellite Based Augmentation Systems – SBAS*).²⁴ Svi se oni nalaze u Zemljinoj orbiti na različitim visinama kao što je vidljivo na slici 15. Sjedinjene Američke Države su svoj sustav GPS, kao i Rusija GLONASS učinile javno dostupnim bez dodatnih naknada, što je dodatno potaklo ICAO, kao i ostale međunarodne udruge da prihvate GPS i GLONASS kao temelj GNSS-a.



Slika 15. Raspored satelitskih sustava u Zemljinoj orbiti

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_satellite_navigation_orbits.svg
(02.09.2018.)

²²Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 138

²³<http://kartverket.no/efs-documents/editions/2015/efs01-2015.pdf>, p. 26 (02.09.2018.)

²⁴Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p.197

Sustav za globalno pozicioniranje sastoji se od 31 satelita koji se gibaju oko Zemlje u kružnim orbitama na visini od oko 20 000 km, a raspoređeni su unutar šest orbitalnih ravnina tako da se u svakom trenutku iznad horizonta nalazi barem pet ili više satelita. Pozicija se određuje pomoću tri satelita koji na osnovu razlike vremena u pristizanju signala određuju 3D lokaciju, a zbog netočnosti sata na prijemniku potrebno je mjeriti i razmak do 4. satelita.²⁵

Kako bi to bilo moguće, na GPS-ovim satelitima se nalaze atomski, iznimno precizni satovi, a u signalu koji emitiraju se nalazi podatak o vremenu kad je signal poslan. Na osnovu primanja podataka o vremenu, primatelj signala, uz određene korekcije (npr. utjecaj troposfere i ionosfere na putanju signala) može vrlo precizno odrediti svoju lokaciju. Kako bi se smanjila cijena i omogućila javna upotreba GPS-a, bilo je potrebno riješiti sinkronizaciju sata na prijemniku. Kako ne bi svi prijemnici morali imati skupe atomske satove, uvedena je sinkronizacija s 4. satelitom koji ažurira vrijeme na prijemniku. Na taj način prijemnik ima isto podešeno vrijeme kao i sateliti te je moguće s ostala 3 satelita utvrditi točnu lokaciju s preciznošću od otprilike 7.8 m, 95% vremena, bilo gdje na Zemljinoj površini.²⁶

Sustav za globalno pozicioniranje dijeli se na tri dijela: kontrolni, svemirski (sami sateliti) te korisnički. Kontrolni sustav sastoji se od glavne kontrolne stanice u Colorado Springsu, 12 nadzornih stanica (Hawaii, Colorado Springs, otok Ascension u Atlantskom oceanu, atol Diego Garcia u Indijskom oceanu te otok Kwajalein u južnom Pacifiku, Argentina, Bahrain, Ujedinjeno Kraljevstvo, Ecuador, Washington DC i Australija) te četiri zemaljske antene koje nadziru satelite od horizonta do horizonta. Nadziru se podaci poput točne visine, pozicije, brzine i općenito stanja satelita i pojedinih dijelova, a sve u svrhu omogućavanja predviđanja putanje.²⁷

Korisnički segment uključuje civilnu i vojnu opremu koja zaprima signale s GPS satelita. Konkretno, u avijaciji je velika prisutnost uporabe GPS-a, kako za jedinice na Zemlji, tako i u zraku. Koristi se gotovo za sve faze leta, od dolaska kada se zrakoplov navodi u prostoru do prilaska slijetanju, dolasku, za vrijeme krstarenja, samog slijetanja, a korisnost se posebno ističe u preookeanskim letovima gdje ne postoje zemaljski uređaji za radionavigaciju. Kontrolori zračnog prometa periodički primaju informacije od pilota o njihovoj poziciji što uzrokuje potrebu da zrakoplovi lete na većim međusobnim udaljenostima, dok se kod upotrebe GPS-a uvijek dobiva gotovo trenutna pozicija što dovodi do mogućnosti smanjenja separacije i povećanja kapaciteta. U današnje se vrijeme također razvija i implementira upotreba GPS-a kod zemaljskih vozila na aerodromima kako bi se konflikti umanjili na minimalnu razinu do potpune eliminacije.²⁸

²⁵Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p.200

²⁶https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks/ (02.09.2018.)

²⁷https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/controlsegments/ (02.09.2018.)

²⁸https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/usesegments/aviation/ (02.09.2018.)

S druge strane, ruski sustav GLONASS sastoji se od 24 satelita jednoliko raspoređenih u tri orbitalne ravnine na visini od 19100 km.²⁹

Uz ova dva sustava koji su u najširoj primjeni, Europa razvija svoj sustav Galileo, Indija IRNSS te Kina BeiDou.

Globalni navigacijski satelitski sustavi, posebno GPS, dodatno su doprinijeli unaprjeđenju prostorne navigacije. Moguće je dobiti vrlo preciznu trodimenzionalnu lokaciju čak i u zračnom prostoru koji nije u potpunosti pokriven signalom zemaljskih odašiljača i uređaja. U Europi je, od 1998., u primjeni osnovna prostorna navigacija. Prema osnovnoj prostornoj navigaciji, minimalna navigacijska preciznost iznosi ± 5 nautičkih milja unutar 95% vremena. Europski standardi za navigacijsku preciznost precizne prostorne navigacije iznose ± 1 nautičku milju, također unutar 95% vremena. Navigacijsku preciznost precizne prostorne navigacije moguće je postići koristeći DME/DME, VOR/DME ili GPS sustave. S druge strane, daljnjim razvojem prostorne navigacije i primjenom GNSS sustava, očekuje se postavljanje minimalne navigacijske preciznosti ispod jedne nautičke milje, odnosno između 0,3 i 0,1 nautičku milju.³⁰

3.2 Navigacijski sustavi za prilaz i slijetanje

Prilaz i samo slijetanje zrakoplova mogu biti obavljani vizualno ukoliko to vizualni meteorološki uvjeti dopuštaju, te instrumentalno do visine odluke na kojoj treba biti uspostavljen vizualni kontakt s uzletno-sletnom stazom. Instrumentalni prilaz može biti neprecizan i precizan, a upravo se u tome koristi sustav za slijetanje zrakoplova (*Instrument Landing System – ILS*). Skica sustava vidljiva je na slici 16.

Sustav se sastoji od sljedećih uređaja:

1. odašiljač prilaznog pravca (*Localizer – LLZ*)
2. odašiljač putanje poniranja (*Glide slope – GS*)
3. radiomarkeri
4. monitorski sustavi³¹

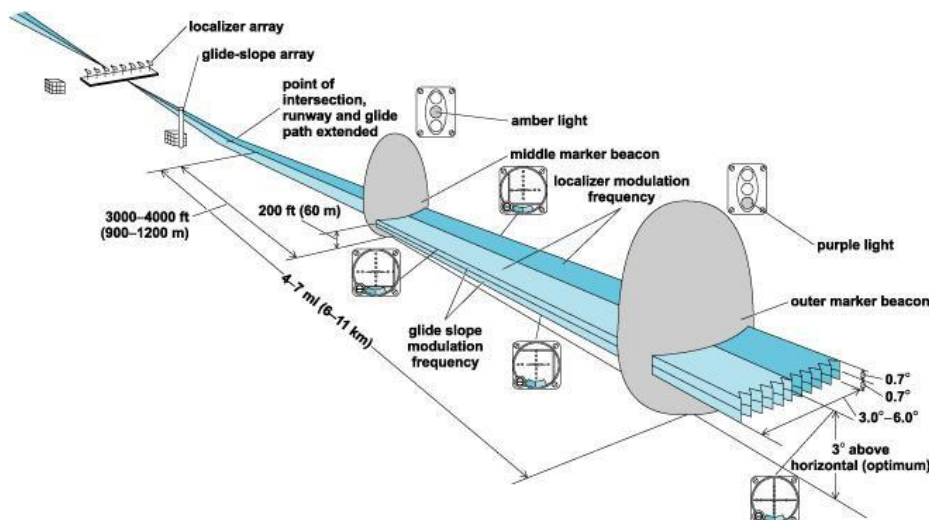
Odašiljač prilaznog pravca postavlja se na 200-300 m od početka uzletno-sletne staze, a služi za vođenje zrakoplova u horizontalnom prilazu uzduž osi uzletno – sletne staze. U slučaju da se zrakoplov ne nalazi na ispravnoj prilaznoj putanji, pokazivač prilaznog pravca (najčešće točka na prikaznim instrumentima u zrakoplovu) pokazuje odstupanje od tražene putanje kako bi pilot mogao ispraviti smjer. Sustav radi na principu frekvencijske modulacije u smislu da polje signala 150 Hz prevladava s desne strane, a polje signala 90 Hz s lijeve, a zatim se po dubini modulacije određuje preciznost prilaza. Na sličan, odnosno isti način funkcionira i odašiljač putanje poniranja, osim što on pokazuje odstupanje od traženog kuta poniranja. Ispod putanje poniranja prevladava signal 150 Hz, a iznad putanje 90 Hz.³²

²⁹Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 262

³⁰https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Navigation_Systems (31.08.2018.)

³¹Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 608

³²Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997., p. 613



Slika 16. Sustav za instrumentalno slijetanje

Izvor: <http://static.landingsystem.com/thumbs/ground-equipment-position.jpg> (02.09.2018.)

Radiomarkeri su smješteni u produžetku osi uzletno-sletne staze s prilazne strane te emitiraju vertikalno uski radijski snop koji presijeca ravninu poniranja. Preletom markera kontrolira se prilaz po udaljenosti od praga uzletno sletne staze i visina na navedenoj udaljenosti. Postoje tri radio markera:

1. Vanjski radiomarker (*Outer Marker* – OM)
 - označava da se zrakoplov nalazi u snopu odašiljača kuta poniranja
2. Srednji radiomarker (*Middle Marker* – MM)
 - označava blizinu vizualnog prilaza
3. Unutarnji radiomarker (*Inner Marker* – IM)
 - označava da se zrakoplov nalazi na visini odluke³³

Instrumentalni sustav za slijetanje zrakoplova dijeli se u tri kategorije, ovisno o tome u kojim uvjetima vidljivosti omogućuje provedbu operacija u zračnim lukama. Tako za kategoriju I visina odluke iznosi 60 m (200 ft), kategoriju II 15 m (50 ft), dok za kategoriju III ne postoje minimalni uvjeti što predstavlja mogućnost slijetanja u uvjetima bez ikakve vidljivosti sletne staze za pilota.³⁴ Iako kategorija III omogućuje slijetanje u svim vremenskim uvjetima, ista nije u primjeni na svim zračnim lukama iz razloga što su potrebna dodatna ulaganja u infrastrukturu, u vidu proširenja uzletno-sletne staze i voznih staza, zatim je potrebno održavati veće razmake između zrakoplova koji se nalaze na zemlji i u slijetanju (kako ne bi došlo do blokiranja signala odašiljača prilaznog pravca) i sl.

³³Ibid., p. 618

³⁴ ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. I, p. 3-1

Unutarnji se radiomarker postavlja 150 (± 50) m od odašiljača prilaznog pravca, srednji 300 (± 100) m, te vanjski na 600 (± 200) m.³⁵

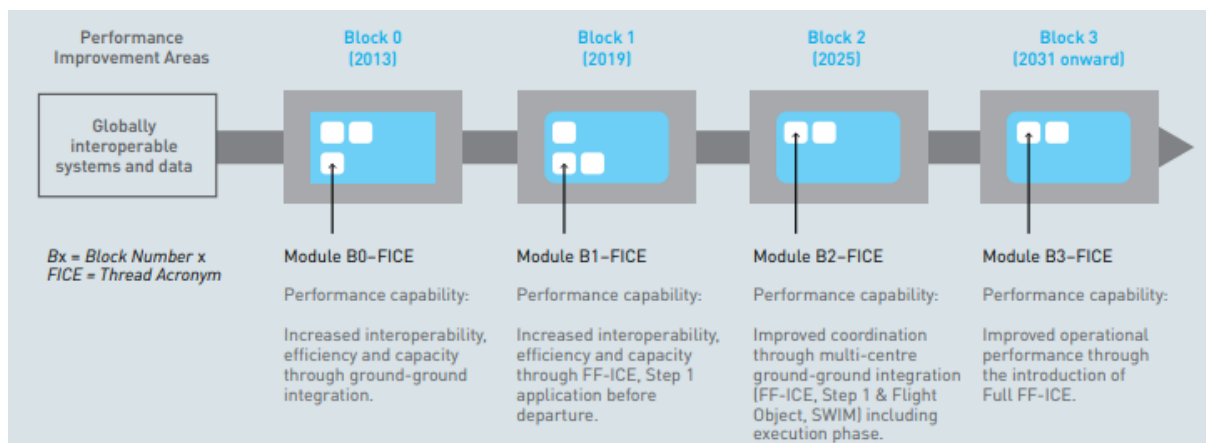
3.3 Global Air Navigation Plan

Prema posljednjem, petom izdanju ICAO-ova plana za razvoj globalne zrakoplovne navigacije (*Global Air Navigation Plan* - GANP) iz 2016. godine razvijen je plan za razvoj sektora u idućih 15 godina. (2016.-2030.). Potreba dodatnog razvijanja sustava ponajviše leži u nastojanju smanjenja broja zrakoplovnih nesreća, ali i razvijanju te pojednostavljenju sustava za same korisnike. Zračni prijevoz je brzorastuća grana prijevoza, što je vidljivo čak i na domaćim zračnim lukama (npr. porast prometa u zračnoj luci Split za čak 23,1% u 2017. godini naspram 2016.³⁶). Međutim, uz tako nagli porast prometa, koji se najviše osjeti u vrijeme turističke sezone (na globalnoj razini) bitno je da sustavi koji se koriste u svrhu nadgledanja i održavanja sigurnosti prometa također budu unaprijeđeni i prate trend porasta broja putnika, odnosno letova.

Iako su se na tehnološkom polju postigla razna važna otkrića, sustavi za navigaciju i dalje su u mnogim državama na razini rudimentarnih iz prošlog stoljeća. Kako bi bilo moguće unaprijediti navigacijske usluge u zračnoj plovidbi, potrebno je modernizirati postojeći tehnički sustav, ali isto tako i uvesti nove procedure koje će efikasno koristiti nove tehničke sustave. Kako bi državama članicama ICAO omogućio provođenje modernizacije navigacijskog sustava, donesena je metodologija unaprjeđenja avijacijskog sustava po blokovima (*The Aviation System Block Upgrades* - ASBU) koja zajedno sa svojim modulima jasno definira mogućnosti nadogradnje sustava prema stvarnim potrebama sustava, ovisno o kojoj se državi članici radi. Tako je cijeli sustav podijeljen na četiri područja, a to su: aerodromske operacije, globalni interoperabilni sustavi i podaci, optimizacija kapaciteta i fleksibilni letovi te učinkovitost putanja leta. Svaki od tih segmenata podijeljen je po blokovima koji predstavljaju rok implementacije, a s obzirom na to da potražnja i potreba nisu jednake u cijelom svijetu, blokovi su podijeljeni na module o kojima se potom raspravlja individualno sa svakom državom članicom o eventualnoj potrebi uvođenja istoga. Primjer podjele prikazan je na slici 17.

³⁵ ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. I, p. 3-24

³⁶ http://www.split-airport.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=160&Itemid=115&lang=en (02.09.2018.)

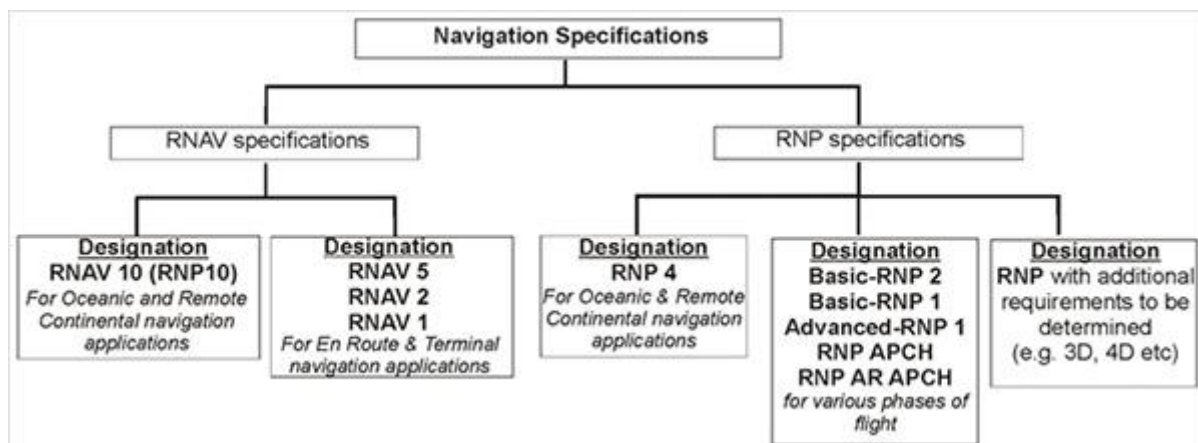


Slika 17. Primjer podjele GANP-a prema blokovima
Izvor: ICAO: 2016-2030 *Global Air Navigation Plan*, p. 9

3.3.1 Koncept navigacije prema letnim sposobnostima zrakoplova

Koncept navigacije prema letnim sposobnostima zrakoplova (*Performance Based Navigation – PBN*), koji je jedan od ciljeva postavljenih GANP-om, temelji se na uporabi RNAV sustava, koja je omogućena dvjema komponentama: navigacijskom infrastrukturom i navigacijskom specifikacijom³⁷. Iz te dvije komponente proizlazi treća, a to je navigacijska primjena. Koncept navigacije prema letnim sposobnostima zrakoplova upravo je prikazan kao odnos između ove tri komponente. Navigacijska specifikacija osnova je za odgovarajuće operativne zahtjeve u svezi certificiranja navigacijskih sustava, odnosno detaljno definira performanse koje sustav treba posjedovati u pogledu potrebne točnosti, integriteta, dostupnosti, pouzdanosti i funkcionalnosti. Sama navigacijska specifikacija može biti prostorno-navigacijska ili sukladna zahtijevanim navigacijskim performansama (*Required Navigation Performance - RNP*). Gotovo da se radi o istim konceptima, uz iznimku što RNP specifikacija zahtijeva da navigacijski sustav u zrakoplovu ima ugrađenu funkciju nadzora definiranih performanci, kao i funkciju uzbunjivanja. Na slici 18. prikazana je trenutna podjela navigacijskih specifikacija, a njihova razina ovisi o području pokrivanja te potrebama za preciznosti navigacije (npr. iznad oceana potrebna manja preciznost nego iznad naseljenih mjesta).

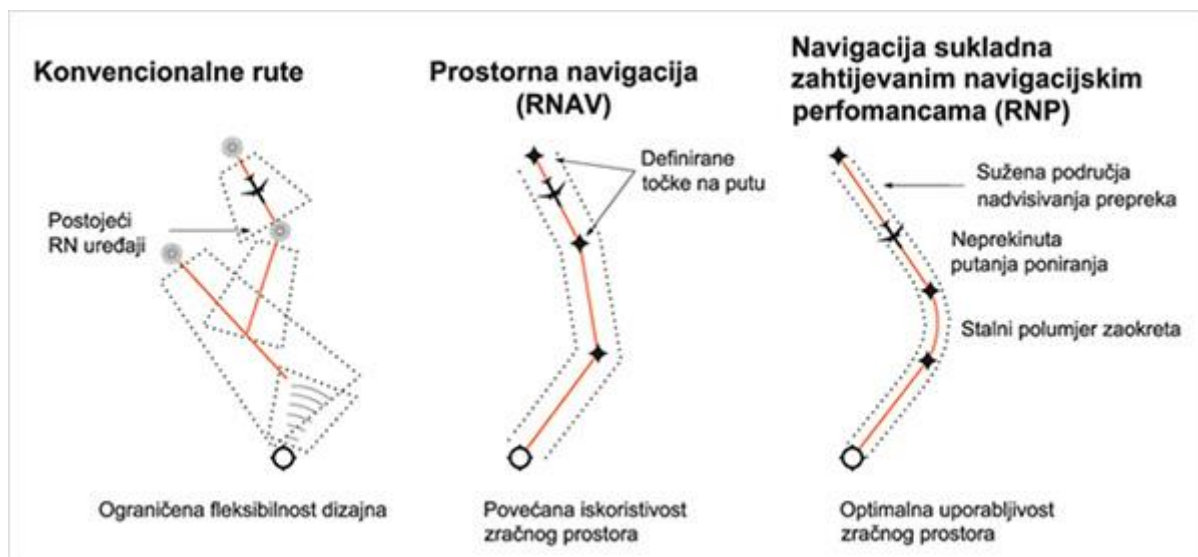
³⁷ ICAO: Doc 9613, *Performance-based Navigations (PBN) Manual*, p. I-A-1-1



Slika 18. Podjela navigacijskih specifikacija

Izvor: ICAO: Doc 9613, *Performance-based Navigations (PBN) Manual*, p. I-A-1-6

Koliko zapravo primjena PBN koncepta pridonosi napretku navigacije, odnosno kreiranja planova leta, vidljivo je na slici 19.



Slika 19. Primjena navigacijske specifikacije u kreiranju planova leta

Izvor: Hrvatska kontrola zračne plovidbe: <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=36>
(02.09.2018.)

Upravo je implementacija i unaprjeđenje PBN koncepta prioritet ICAO-a u razvoju zrakoplovne navigacije. Kako bi isto bilo omogućeno svim državama članicama, od ICAO-a su tražile materijale i postupnike poput organizacije radionica, konzultacija, online paketa učenja, aktivnu i koordiniranu podršku i sl.

Kod mnogih glavnih svjetskih aerodroma PBN koncept je već aktivno u primjeni, a uz razumnu kreaciju planova leta smanjen je i utjecaj na okoliš u vidu emisija štetnih plinova te emisiji buke. Gdje je moguće (uvjetovanja reljefom okoline), koriste se i operacije kontinuiranog spuštanja i penjanja, koje još dodatno unaprjeđuju te rezultate.

3.3.2 Operacije kontinuiranog spuštanja i penjanja

Operacije kontinuiranog spuštanja (*Continuous Descent Operations* – CDO) zapravo definiranju putanju prilikom slijetanja zrakoplova uz minimalnu uporabu potisnih sila motora. Kao što je prikazano na slici 20., ranije su se zrakoplovi s visine krstarenja spuštali „stepenasto“ pri čemu je na svakom dijelu putanje koja je paralelna s tlom bilo potrebno koristiti potisnu snagu motora što je utjecalo na veće emisije štetnih plinova te razinu buke. Kako bi se to izbjeglo, posebice jer se aerodromi uglavnom nalaze u blizini naseljenih mjesta i uštede goriva, uvedene su operacije kontinuiranog spuštanja.³⁸



Slika 20. Operacija kontinuiranog spuštanja

Izvor: Sustainable Aviation, <http://www.sustainableaviation.co.uk/what-we-are-doing/> (14.06.2018.)

Analogno spuštanju (CDO), slične utjecaje imaju i operacije kontinuiranog penjanja (*Continuous Climb Operations* - CCO) prilikom uzlijetanja zrakoplova. Ove operacije ne zahtijevaju nikakvu dodatnu zemaljsku ili zračnu opremu, radi se isključivo o samom načinu upravljanja zrakoplovom. Dakako, ništa od navedenog ne bi bilo moguće bez uporabe PBN koncepta prilikom kreiranja ruta i planova leta. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva operacije kontinuiranog spuštanja, njihov dizajn i implementaciju propisuje u svom dokumentu *Continuous Descent Operations (CDO) Manual* (Doc 9931), dok su operacije penjanja sadržane u *Continuous Climb Operations (CCO) Manual* (Doc 9993).

Pojedinom operacijom kontinuiranog spuštanja ili penjanja uštedi se 50-200 kg goriva po letu. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva procjenjuje da bi planirano uvođenje CCO i CDO operacija moglo uštedjeti 500 kilotona goriva na godišnjoj razini, u Europi. Glede smanjenja buke, CDO operacija smanjuje intenzitet buke od jedan do pet dB.³⁹

³⁸ ICAO: 2016-2030 Global Air Navigation Plan, p. 22

³⁹ <https://www.eurocontrol.int/articles/continuous-climb-and-descent-operations> (01.09.2018.)

4 NADZORNI SUSTAVI U ZRAČNOJ PLOVIDBI

Kao što je i ranije spomenuto, zračni je promet u porastu, što podrazumijeva i veći broj letova koji uzrokuju i veću gustoću prometa. Također, postoji i potreba za povećanjem operativne fleksibilnosti zrakoplova kako bi se povećala učinkovitost zrakoplova te smanjio utjecaj na okoliš. Nadzorni sustavi u zračnoj plovidbi upravo su jedan od alata kojima se omogućuje sigurno upravljanje porastom obujma i kompleksnosti zračnog prometa.⁴⁰

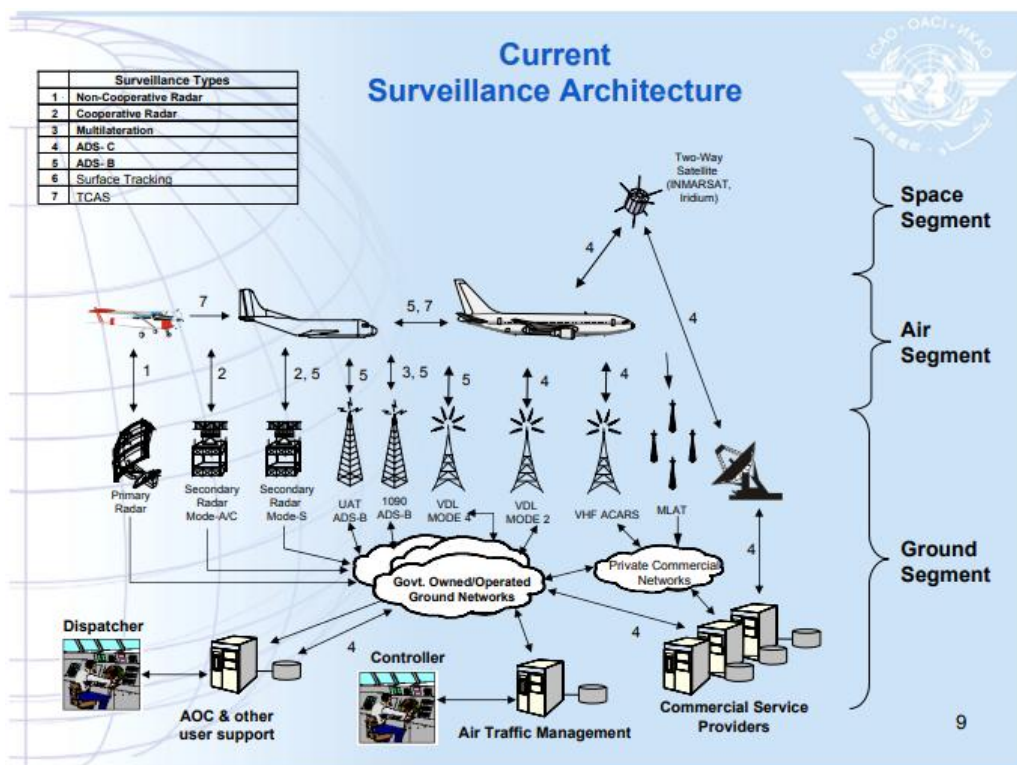
Posebno važnu ulogu u efikasnom korištenju zračnog prostora zauzima mogućnost određivanja pozicije i praćenja zrakoplova sa što većom preciznosti, kako bi bilo moguće minimizirati standarde separacije zrakoplova. S većom preciznosti, omogućava se i veća sigurnost zračne plovidbe u smislu mogućnosti pravovremenog upozoravanja na anomalije u separaciji zrakoplova ili neodržavanju dovoljne visine zrakoplova u odnosu na tlo.

Nadzorni sustavi se općenito dijele na kategorije prema sudjelovanju i potrebi postojanja uređaja na zrakoplovima. Pozicija zrakoplova se u slučaju neovisnih nekooperativnih sustava određuje mjerenjem udaljenosti zrakoplova sa zemlje bez ikakve potrebe za dodatnim uređajima na samom zrakoplovu, dok neovisni kooperativni sustavi primaju i dodatne podatke preko uređaja koji se nalazi u zraku poput identiteta zrakoplova. Ovisni kooperativni sustavi poziciju zrakoplova određuju u samome zrakoplovu te takve podatke šalju prema zemaljskim sustavima zajedno s eventualnim dodatnim podacima. Postoje i posebni selektivni sustavi koji rade na principu postavljanja upita uređajima koji se nalaze na samom zrakoplovu, ali kako ne bi došlo do zagušenja u komunikacijskim kanalima, isti prema identifikaciji zrakoplova upit postavljaju samo određenom, traženom zrakoplovu.⁴¹

Trenutno stanje infrastrukture nadzornih sustava (2009.) prikazano je slikom 21., dok je planirano stanje prikazano slikom 22.

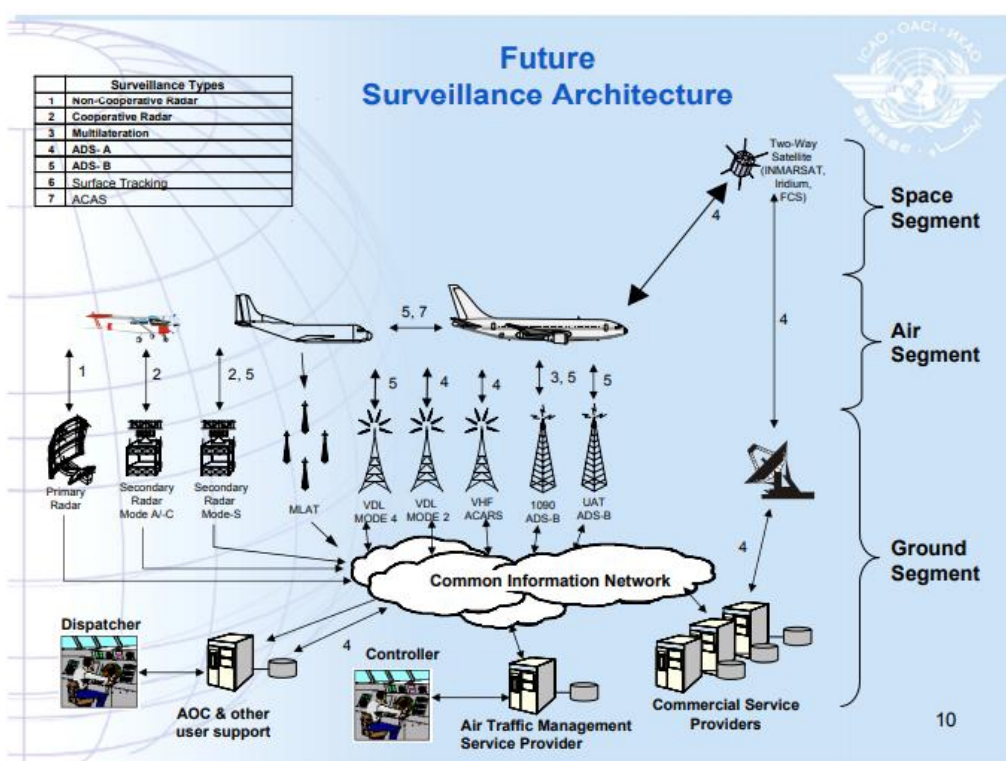
⁴⁰ ICAO: *Doc 9924, Surveillance Manual*, Vol. II., 2017, p. 1-1

⁴¹ *Ibid.*, p. 2-2



Slika 21. Trenutno stanje infrastrukture nadzornih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 9



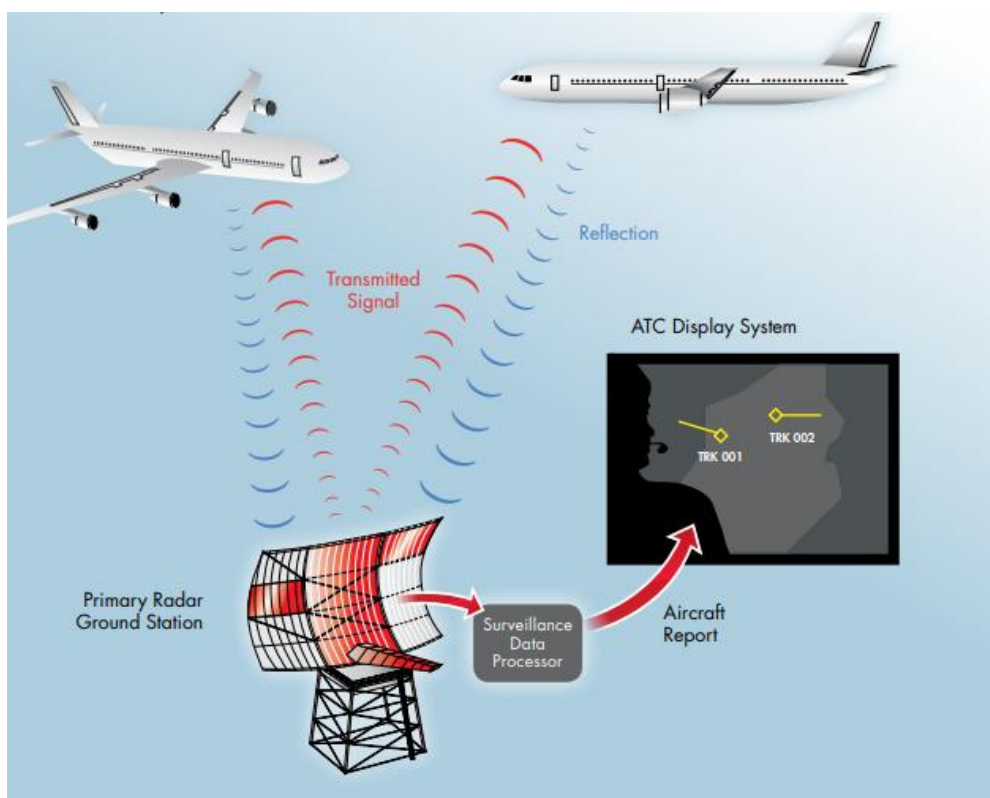
Slika 22. Buduće stanje infrastrukture nadzornih sustava

Izvor: ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009., p. 9

4.1 Nadzorni uređaji

4.1.1 Radari

Najveći značaj i primjenu kod nadzornih sustava u zračnoj plovidbi imaju uređaji za radijsko otkrivanje i svrstavanje - radari (*Radio Detection And Ranging* – RADAR). Iz samog naziva jasna je primjena radiovalova kao i u svim ostalim segmentima pružanja usluga u zračnoj plovidbi. Elektromagnetski valovi po svojoj se prirodi u prostoru šire brzinom koju je zadovoljavajuće aproksimirati brzinom svjetlosti, a s obzirom na to da se radi o valovima koji se reflektiraju, moguće je mjeriti vrijeme potrebno da se odašlani signal vrati u početnu točku kao što je vidljivo na slici 23.



Slika 23. Refleksija emitiranog impulsa

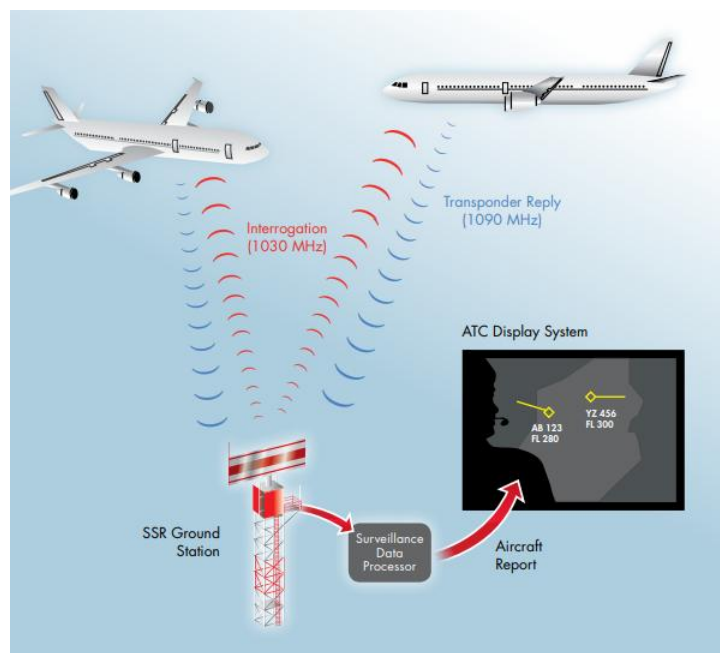
Izvor: Air Traffic Management: A Guide to Global Surveillance, Thales Air Systems, p. 14

Gore prikazanom slikom zapravo je i definiran princip rada primarnog radara (*Primary Surveillance Radar* - PSR) koji mjeri vrijeme potrebno da se emitirani impuls vrati u početnu točku. Vrijeme potrebno da se emitirani signal vrati izračunava se formulom $t_R = \frac{2R}{c}$, gdje R označuje udaljenost od odašiljača do objekta, odnosno zrakoplova, dok je c brzina širenja vala, u spomenutoj formuli aproksimirana brzinom svjetlosti (3×10^8 m/s). Brzina zrakoplova puno je manja od iznosa brzine svjetlosti te se na taj način dobije gotovo trenutna pozicija zrakoplova u trenutku. Na ovaj je način moguće dobiti trenutnu poziciju zrakoplova bez ikakvih uređaja na samom zrakoplovu.⁴² Primarni se radar uglavnom koristi

⁴²Kingsley S., Quegan S.: *Understanding Radar Systems*, SciTech Publishing Inc., 1999., p. 3

na područjima oko aerodroma, a u nekim državama i za zrakoplove koji su u fazi krstarenja, iako rjeđe s obzirom na ograničenost dometa primarnog radara, i nešto manje frekvencije ažuriranja informacija o poziciji zrakoplova.

Napredniji, zavisni sustav, za koji je potreban uređaj na samom zrakoplovu koji odašilje podatke naziva se sekundarni radar (*Secondary Surveillance Radar - SSR*). Sekundarni radar sastoji se od antene, pitača, odašiljača i dekodera dok je na zrakoplovu potreban transponder koji šalje informacije stanici na zemlji po zaprimanju upita. U primjeni se najčešće koriste i PSR i SSR zajedno, na način da se antene smještaju jedna iznad druge, okreću se oko iste osi, a podaci se prikazuju na zajedničkom pokazivaču, iako se u novije vrijeme PSR koristi poglavito u slučajevima kada SSR zakaže.⁴³ Princip rada prikazan je na slici 24.



Slika 24. Princip rada sekundarnog radara

Izvor: Air Traffic Management: *A Guide to Global Surveillance*, Thales Air Systems, p. 16

Uvođenjem sekundarnog radara, postalo je moguće dobiti podatke sa samog zrakoplova, pa se u zajedničkom korištenju dobivaju informacije o položaju zrakoplova, visina na kojoj zrakoplov leti, smjer letenja te posebna identifikacija svakog zrakoplova u obliku četiri znamenke, poznate i kao identifikacijski kôd (*Squawk Code*). Posebno je korisno što pilot zrakoplova ima mogućnost samostalno postaviti identifikacijski kod te se na taj način u hitnim situacijama postavlja kôd 7600 u slučaju gubitka, odnosno nemogućnosti komunikacije, a kôd 7700 u svim ostalim izvanrednim situacijama kako bi se posebno privukla pozornost ostalih sudionika prometa, a posebice kontrolora zračnog prometa. Kratki pregled specifičnih identifikacijskih kôdova prikazan je u tablici 5.

⁴³ Kingsley S., Quegan S.: *Understanding Radar Systems*, SciTech Publishing Inc., 1999., p. 159

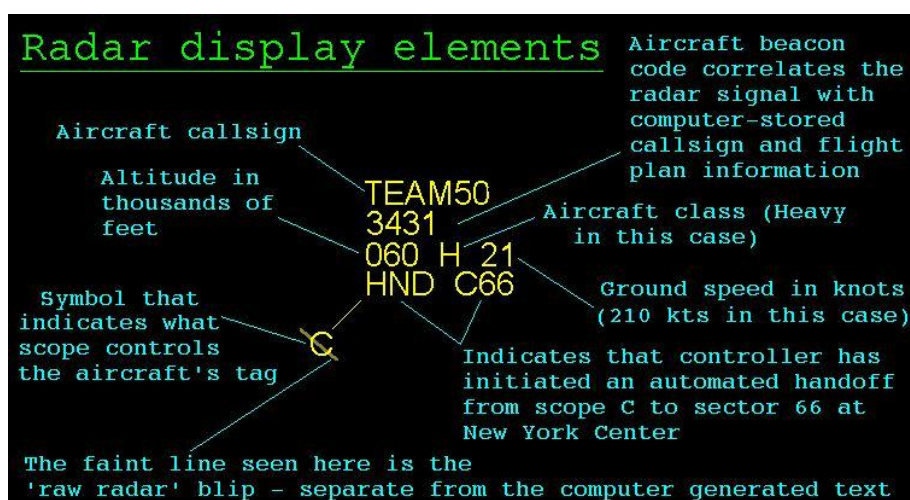
Tablica 5. Primjeri identifikacijskih kôdova

Identifikacijski kôd	Objašnjenje	Država/regija primjene
7400	Izgubljena veza s bespilotnom letjelicom	Australija, SAD
7500	Neovlašteno ometanje (otmica) zrakoplova	Cijeli svijet
7600	Izgubljena mogućnost komunikacije	Cijeli svijet
7700	Izvanredna situacija	Cijeli svijet
0000	Uglavnom se ne koristi (osim u vojne svrhe)	Europa, SAD
0000	SSR podaci nepouzdati	Velika Britanija

Izvori: ICAO: *Annex 10, Aeronautical Telecommunications*, Vol. IV., 2014., p. 2-3

<http://www.flightradars.eu/squawkcodes.html#7000> (01.09.2018.)

Izgled pokazivača koji vidi kontrolor zračnog prometa prikazan je na slici 25.



Slika 25. Prikaz zrakoplova na radaru kontrolora zračnog prometa

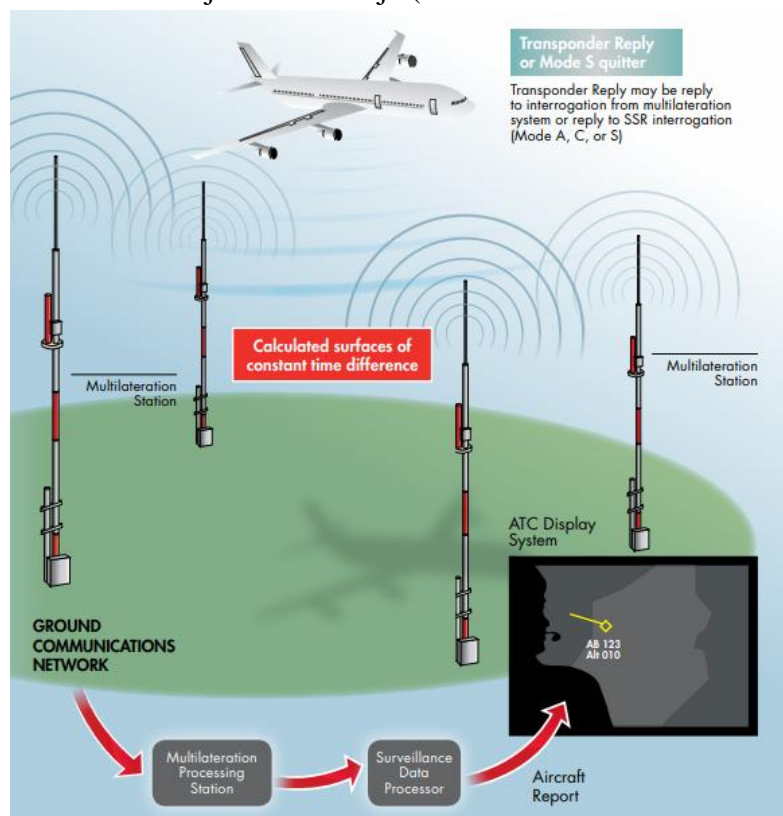
Izvor: http://www.oocities.org/rjt02/images/aircraft_tag.jpg (02.09.2018.)

Važno je napomenuti kako podaci koji se šalju prema kontroloru zračnog prometa ovise o transponderu koji se nalazi na zrakoplovu. Ukoliko se na zrakoplovu nalazi transponder u A/C načinu rada, kodirani odgovor će sadržavati informacije o identifikaciji zrakoplova i visini. Problem se pojavio na područjima s povećanim prometom gdje je došlo do preklapanja signala, pa je uveden selektivni (*Select* – S) način rada transpondera koji uz osnovne podatke sadrži i jedinstvenu adresu za svaki zrakoplov.

Unaprjeđenjem tehnologije te razvojem posebnih softvera računala automatski unaprijed upozoravaju kontrolore zračnog prometa u slučaju narušavanja minimalne separacije zrakoplova u zračnom prostoru i druge eventualne opasnosti do kojih bi moglo doći zbog ljudskog faktora.

Osim PSR-a i SSR-a, posebice na područjima zračnih luka, koriste se radarski sustavi za prilaz i slijetanje (*Ground Controlled Approach – GCA*) koji se sastoji od radara za precizni prilaz (*Precision Approach Radar – PAR*), nadzornog radara (*Airport Surveillance Radar – ASR*) te radiostanice u zrakoplovu. Nadzorni radar daje podatke kao radar za kontrolu zračnog prometa za prostor oko aerodroma te omogućava dovodenje zrakoplova u sektor završnog prilaza nakon čega ga prihvaća snop PAR radara. Nakon prihvaćanja zrakoplova, PAR radar kontroloru zračnog prometa prikazuje liniju pravca, liniju poniranja te udaljenost od praga. Radar za precizni prilaz funkcionira gotovo kao ILS, uz bitnu razliku uloge kontrole zračnog prometa. Dok ILS sustav prikazuje informacije o slijetanju izravno pilotu, kod PAR sustava informacije dobiva kontrolor zračnog prometa te prenosi upute pilotu komunikacijskim vezama. Iako je navedenim sustavom moguće sigurno prizemljiti zrakoplov i prilikom nepostojanja vizualnih uvjeta (vidljivost iznosi nula metara), iz sigurnosnih su razloga postavljeni minimumi vidljivosti u kojima je radarski sustav za prilaz i slijetanje moguće koristiti.⁴⁴

Također, postoji i mogućnost multilateralnog nadzora (*Multilateral – MLAT*) uz postojanje više odašiljača koji istovremeno zaprimaju signale s transpondera u zrakoplovu, kao što je prikazano na slici 26. Na osnovu pristizanja signala do pojedinog para odašiljača poput hiperbolnog navigacijskog sustava. Koristi se za prilaze aerodromima, nadzor zemaljskih kretanja te nadzor za vrijeme krstarenja (*Wide Area Multilateration – WAM*).



Slika 26. Princip rada multilateralnog nadzora

Izvor: Air Traffic Management: *A Guide to Global Surveillance*, Thales Air Systems, p. 18

⁴⁴http://glossary.ametsoc.org/wiki/Ground-controlled_approach (02.09.2018.)

4.1.2 Sustav za automatski zavisni nadzor

Nadzor je ključni alat kontrole zračnog prometa. Predstavljaju „oči“ kontrolorima zračnog prometa pokazujući tko je na nebu, gdje se nalazi, i kada se nalazio na tom mjestu. Dakle, bez nadzornih uređaja, kontrola zračnog prometa bi bila praktički nemoguća, posebice u područjima s gustim prometom. Naravno, postoje i područja s manjim tokom prometa, tako da je potrebno prilagoditi tehničku pozadinu realnim uvjetima i potrebama. Iako se primarno u svrhu nadzora koriste već spomenuti radari (PSR, SSR), zbog svojih nedostataka, nadopunjuju ih novije tehnologije, posebice one bazirane na GPS-u, odnosno GNSS-u.

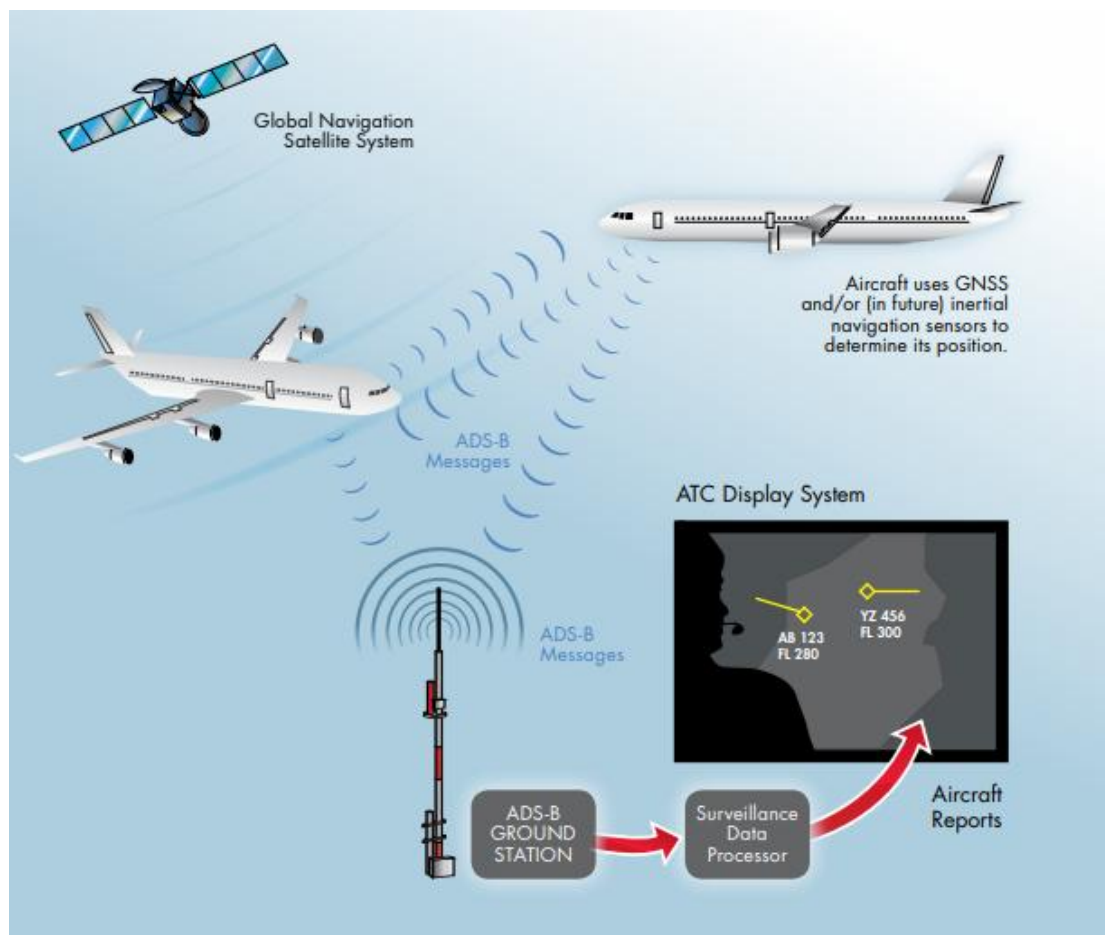
Sustav za automatski zavisni nadzor (*Automatic Dependent Surveillance – Broadcast – ADS-B*) noviji je nadzorni sustav koji poziciju zrakoplova koja je određena putem satelitske navigacije periodički (svake sekunde) emitira bez potrebe da pilot sudjeluje u procesu. Podatke prikuplja zemaljska stanica kontrole zračnog prometa, ali i ostali sudionici zračnog prometa, a služe kao i informacije koje zaprima sa SSR-a. Posebno velika korist proizlazi iz činjenice da se ovaj sustav može koristiti i na području gdje nema pokrivenosti radara, posebno na područjima iznad oceana. Zahvaljujući visokoj iskoristivosti navedenog sustava, mnoge svjetske države uvode ADS-B kao obavezan sustav na zrakoplovima, posebno na višim razinama leta.⁴⁵ Shema sustava prikazana je na slici 27., a kao posebne prednosti ističu se cijena koja je jeftinija od bilo kojeg drugog sustava koji su trenutno u upotrebi, visoka frekvencija ažuriranja (1 sekunda), velika preciznost zahvaljujući korištenju GPS sustava te, između ostalih, niska cijena održavanja. Ono što predstavlja negativnu stranu je činjenica da za funkcioniranje ADS-B sustava svi zrakoplovi moraju biti opremljeni transponderom koji podržava S način rada, oslanja se u velikom dijelu na rad GNSS sustava na kojeg, iako je precizan, djeluju vanjski čimbenici ionosfere, a pozicija se određuje bez provjere neovisnog sustava. Općenito, postoje tri načina rada transpondera. U A modu oprema na zrakoplovu odašilje isključivo identifikacijski kôd zrakoplova. U C modu uz identifikacijski kôd se kontroloru zračnog prometa šalje i informacija o nadmorskoj visini i razini leta zrakoplova. Oprema koja radi u S modu uz odašiljanje identifikacijskog kôda, informacije o nadmorskoj visini i razini leta zrakoplova, omogućuje i prijenos podataka.⁴⁶ Dodatni benefiti S moda su u puno većem broju mogućih adresa (naspram moda A) što pridonosi većem kapacitetu, veća frekvencija ažuriranja te veća preciznost. U Europi se koriste nešto stariji mod S osnovnog nadzora (*Elementary Surveillance - ELS*) te sve zastupljeniji mod S poboljšanog nadzora (*Enhanced Surveillance - EHS*). Mod S EHS uz sve ranije navedene elemente također omogućava informiranje kontrole zračnog prometa o namjeri pilota o promjeni razine leta koju pilot unese u sustav zrakoplova. Također, mod S EHS omogućava prosljeđivanje detaljnih informacija o smjeru i brzini, što u konačnici pojednostavljuje kontrolu zračnog prometa jer je u ranije spomenutim sustavima kontrola zračnog prometa sve te podatke morala tražiti izravno od pilota.⁴⁷

⁴⁵[https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/atc/\(02.09.2018.\)](https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/atc/(02.09.2018.))

⁴⁶<https://www.skybrary.aero/index.php/Transponders> (01.09.2018.)

⁴⁷https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S (01.09.2018.)

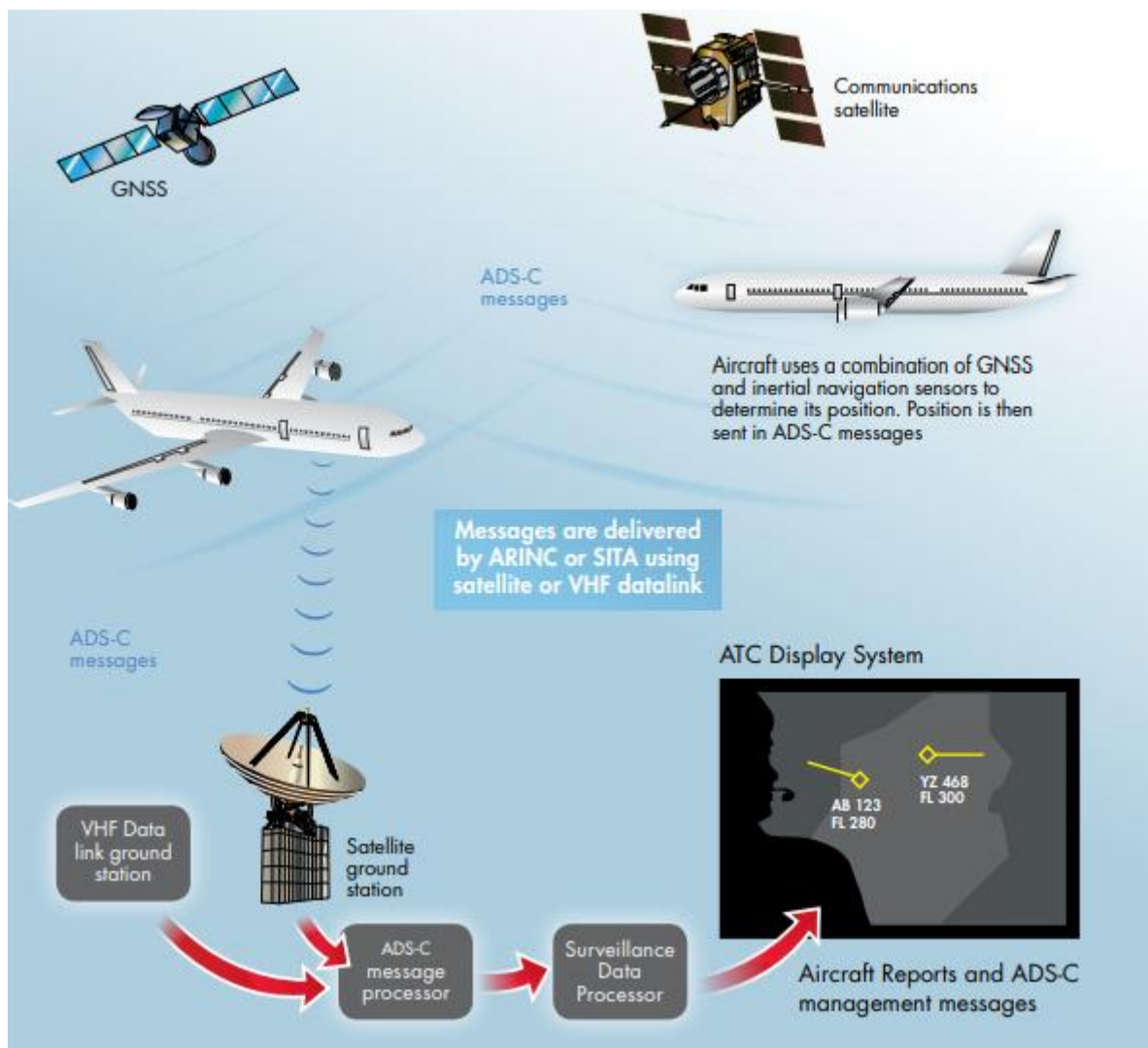
Međutim, ADS-B sustav ima i sekundarnu primjenu u sustavu putnog informiranja (*Traffic Information Service – Broadcast – TIS-B*), a funkcionira na način da posade u zrakoplovu putem ADS-B podatkovnog linka dobiju sa zemaljske postaje informacije o prometu koji se odvija oko njih, i to bez obzira imao taj zrakoplov ADS-B transponder ili ne.



Slika 27. Princip rada ADS-B sustava

Izvor: Air Traffic Management: *A Guide to Global Surveillance*, Thales Air Systems, p. 20

Svi navedeni sustavi koriste se, i unapređuju, kako bi bilo moguće što preciznije održavati separaciju zrakoplova. Na prekontinentalnim letovima promet još uvijek nije toliko gust da separacija predstavlja problem, a kako površina mora predstavlja problem pri izgradnji infrastrukture, za takva se područja koristi nešto drugačiji sustav za automatski zavisni nadzor, a to je ADS-C (*Automatic Dependent Surveillance – Contract*). Iako su imena vrlo bliska, radi se o vrlo različitim sustavima. Razlika je u tome što kod ADS-C sustava, zrakoplov, prema unaprijed dogovorenim uvjetima (intervali i količina podataka) šalje podatke (pozicija, visina, brzina, namjera daljnje navigacije, meteo podaci) prema samo jednoj ili više pojedinih postaja za kontrolu zračnog prometa na zemlji. Shema sustava prikazana je na slici 28.



Slika 28. Analiza zaprimljenih podataka od svih zrakoplova

Izvor: Air Traffic Management: *A Guide to Global Surveillance*, Thales Air Systems, p. 22

Dakako, danas su u uporabi svi ovi sustavi, a kako se radi o velikoj količini podataka, svi prolaze kroz automatski sustav kontrole zračnog prometa gdje se filtriraju podaci o istim zrakoplovima te se kontroloru zračnog prometa prikazuje jedna, detaljna informacija.

4.2 Primjena nadzornih sustava

Svi ovi osnovni navedeni uređaji imaju svoju primjenu, ovisno o području djelovanja. Tako se, primjerice, za prostorni nadzor uglavnom koriste ADS-C (posebice na oceanskim i udaljenim područjima), SSR, WAM, te ADS-B. Razlog leži u činjenici da se radi o prostranim područjima u kojima se zrakoplovi već nalaze na svojim rutama te uglavnom krstare velikim brzinama. Promjene u visini leta i rute nisu toliko česte te se uglavnom događaju zbog eventualne kolizije s ostalim zrakoplovima, vremenskih uvjeta ili operativne efikasnosti zrakoplova.

S druge strane, kod prilazne kontrole zračnog prometa, radi se o većoj gustoći prometa i čestim promjenama smjera i visine leta. Ponekad je, zbog nedostatnog kapaciteta zračne luke ili zračnog prostora, dolazne letove potrebno zadržati u zraku. Zrakoplovi se razdvajaju manjom separacijom nego kod prostorne kontrole i nadzora zračnog prometa, ali su i brzine zrakoplova manje. Kod prilaza su najviše u uporabi primarni i sekundarni radari, multilateracija i ADS-B.

Kako bi se spriječili sudari na samim manevarskim površinama u zračnoj luci, kretanja na zemlji nadzire aerodromska kontrola zračnog prometa. Sprječavaju se sudari između dva zrakoplova u blizini zračne luke, zrakoplova koji slijeću i polijeću, ali isto tako i između zrakoplova i ostalih vozniha sredstava na zračnoj luci. Iako je, zbog malih brzina i lake uočljivosti zrakoplova, nadzor moguće vršiti vizualno iz tornja, zbog eventualnih loših vremenskih uvjeta, velike gustoće prometa ili nedostatne vidljivosti, koriste se i nadzorni sustavi. Nadzorni sustavi na samim aerodromskim površinama moraju imati visoki stupanj preciznosti i kratke intervale osvježavanja podataka kako bi slika stanja bila što realnija stvarnoj situaciji. Također je potrebno da sustavi imaju mogućnost raspoznavanja samog objekta, odnosno razlikovanje vozila i zrakoplova, ali i prepoznavanje nekooperativnih objekata kao dodatnu stavku sigurnosti. S obzirom na specifičnost aerodromske kontrole zračnog prometa, uglavnom se koriste primarni radari, multilateracija i ADS-B uz primjenu dodatnih sustava poput video sustava, indukcijskih petlji, mikrovalnih prepreka i slično.

Nastavno na analizu nadzornih sustava, slijedi tablica 6. kojom su uspoređeni različiti nadzorni sustavi, prema potrebi postojanja uređaja na zrakoplovu i sudjelovanju istih u određivanju položaja zrakoplova.

Tablica 6. Podjela nadzornih sustava

Nadzorni sustav	Neovisan	Kooperativan	Zemaljski
PSR	DA	NE	DA
SSR	DA	DA	DA
ADS	NE	DA	NE
MLAT	DA	NE	DA

Izvori: <https://www.skybrary.aero/index.php/Multilateration> (03.09.2018.)

https://www.skybrary.aero/index.php/Radar_Identification (03.09.2018.)

5 SUSTAVI ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI U ZRAČNOM PROMETU

Iako razvojem tehnologije komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi postaju sve precizniji i učinkovitiji, niti jedan sustav nije apsolutno otporan na greške i ispade. Kako bi se izvanredne situacije izbjegle čak i u tim slučajevima, razvijaju se novi uređaji i sustavi. Eurocontrol definira sigurnosne mreže (*Safety Nets*) kao zemaljske ili zrakoplovne sustave prvenstveno za upozoravanje pilota i kontrolora zračnog prometa na moguće konflikte.⁴⁸

Zemaljski i zrakoplovni sustavi za povećanje sigurnosti u zračnom prometu djeluju neovisno pa čak i u istom zračnom prostoru. Zemaljske sustave primarno koriste kontrole zračnog prometa. Kontrolori zračnog prometa upozorenje sustava dobiju do dvije minute prije samog konflikta te se od kontrolora zračnog prometa očekuje pravovremena, prikladna reakcija u cilju sprječavanja konflikta. Zrakoplovni sustavi pružaju upozorenja i rješenja direktno pilotima u nešto kraćem vremenskom periodu, do 40 sekundi i očekuje se neposredna reakcija pilota u izbjegavanju konflikta.⁴⁹

Zemaljski sustavi za povećanje sigurnosti u zračnom prometu su sljedeći:

1. Sustav za upozoravanje o konfliktu u kratkom roku (*Short Term Conflict Alert* – STCA) koji kontrolora zračnog prometa zvučnim i vizualnim signalima upozoravaju na opasnost od sudara između dva zrakoplova te mu ostavljaju dovoljno vremena za pravovremenu reakciju i uputu prema pilotu.⁵⁰ Primjer vizualnog upozorenja koje vidi kontrolor zračnog prometa prikazan je slikom 29.



Slika 29. Prikaz upozorenja o konfliktu

Izvor: <http://www.eurocontrol.fr/projects/edep/demo/spd/Tools/STCA/STCA.htm>
(01.09.2018.)

2. Sustav za upozoravanje na približavanje zračnom prostoru (*Area Proximity Warning* – APW) koji upozorava kontrolora zračnog prometa ukoliko putanja leta ulazi u zabranjene zone poput kontroliranog zračnog prostora, područja opasnosti, ograničena ili zabranjena područja.⁵¹

3. Sustav za upozoravanje na minimalnu visinu (*Minimum Safe Altitude Warning* – MSAW) koji kontrolora zračnog prometa upozorava o povećanom riziku kolizije kontroliranog leta s terenom. Sustav upozorenje može generirati na osnovu zaprimljenih podataka o tlaku zraka u neposrednoj okolini zrakoplova ili korištenjem digitalnih podataka o

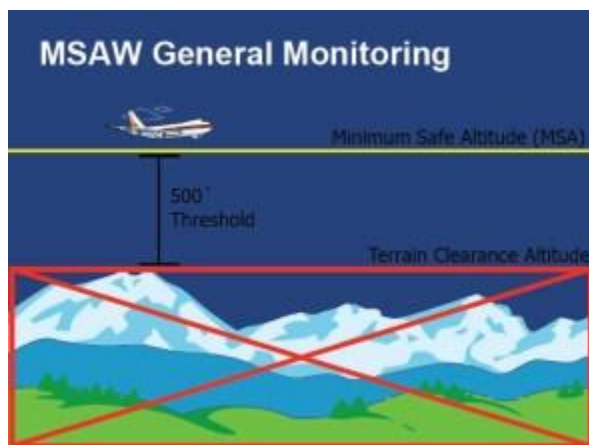
⁴⁸ <http://www.eurocontrol.int/safety-nets> (02.09.2018.)

⁴⁹ https://www.skybrary.aero/index.php/Safety_Nets (01.09.2018.)

⁵⁰ http://www.skybrary.aero/index.php/Short_Term_Conflict_Alert_%28STCA%29 (02.09.2018.)

⁵¹ https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Proximity_Warning (01.09.2018.)

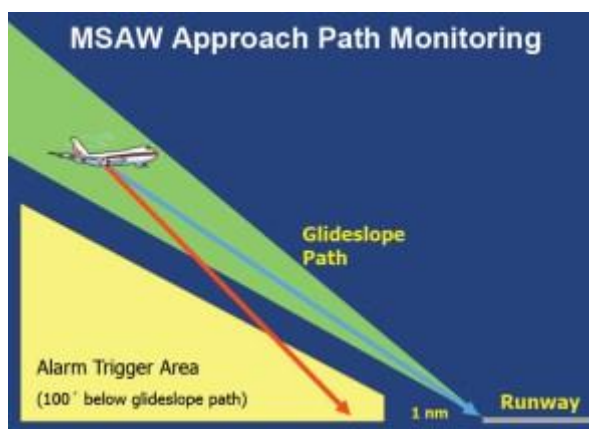
terenu i usporedbom s propisanim minimalnim visinama leta na području.⁵² Primjer održavanja minimalne visine zrakoplova prikazan je slikom 30.



Slika 30. Sustav za upozoravanje na minimalnu visinu

Izvor: <http://aireform.com/minimum-safe-altitude-warning-msaw/> (01.09.2018.)

4. Sustav za praćenje prilazne putanje zrakoplova (*Approach Path Monitor – APM*) koji kontrolora zračnog prometa upozorava na povećan rizik kolizije kontroliranog leta s terenom u fazi prilaženja leta uzletno-sletnoj stazi.⁵³ Primjer praćenja prilazne putanje zrakoplova prikazan je slikom 31.



Slika 31. Sustav za praćenje prilazne putanje

Izvor: <http://aireform.com/minimum-safe-altitude-warning-msaw/> (01.09.2018.)

S druge strane, zrakoplovni sustavi za povećanje sigurnosti u zračnom prometu su sljedeći:

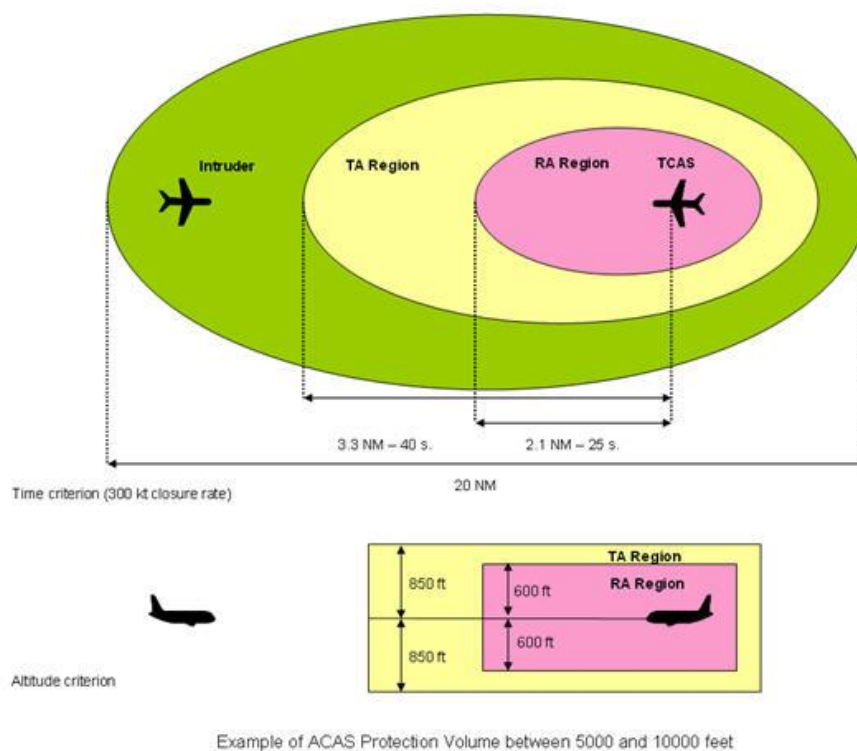
1. Sustav za izbjegavanje sudara u zraku (*Airborne Collision Avoidance System – ACAS*) te njegova posebna implementacija koja jedina zadovoljava ICAO standarde za ACAS II - sustav za upozoravanje u prometu i izbjegavanje sudara (*Traffic Alert And Collision Avoidance System – TCAS*). Razlika između ova dva sustava je u činjenici da TCAS sustav sugerira pilotu za promjenu putanje i brzine u vertikalnom smislu. Kako je u primjeni samo TCAS sustav, često se, u praksi, smatraju sinonimima iako u stvarnosti nije tako. Dakle,

⁵²http://www.skybrary.aero/index.php/Minimum_Safe_Altitude_Warning_%28MSAW%29 (02.09.2018.)

⁵³http://www.skybrary.aero/index.php/Approach_Path_Monitor (02.09.2018.)

ACAS sustav radi na principu sekundarnog radara te nadzire zrakoplove u neposrednoj okolini (neovisno o zemaljskoj opremi) koji su opremljeni transponderom za SSR (u A/C načinu rada) te indicira posadi o zrakoplovu u blizini kao pomoć vizualnoj percepciji drugog zrakoplova.⁵⁴ Sustavi ACAS II i ACAS III, s druge strane, opremljeni su transponderom za SSR u A/C i S načinu rada te osim nadzora okolnih zrakoplova generiraju upute i detektiraju opasnosti (najčešće prikazane drugom bojom na opremi u zrakoplovu) te komuniciraju sa zemaljskim stanicama.⁵⁵ Osim neposrednih opasnosti, ACAS II/III sustav prikazuje promet u krugu od 11 km u horizontalnoj udaljenosti te ± 370 m (1200 ft) vertikalnog razmaka.

Pilot od sustava ACAS II može dobiti dvije vrste upozorenja. Blaži oblik upozorenja je prometni savjet (*Traffic Advisory* - TA) koji upozorava posadu da u blizini postoji uljez koji je eventualna prijetnja kako bi posada mogla vizualno uočiti uljeza. Samu preporuku za manevar izbjegavanja konflikta pilot će dobiti ukoliko ranije spomenuti uljez postane prijetnja savjetom rješenja (*Resolution Advisory* - RA).⁵⁶ Razlika između TA i RA prikazana je slikom 32. Pilot je dužan poštovati RA bez obzira na odobrenja kontrole zračnog prometa.



Slika 32. Sustav za izbjegavanje sudara u zraku

Izvor:

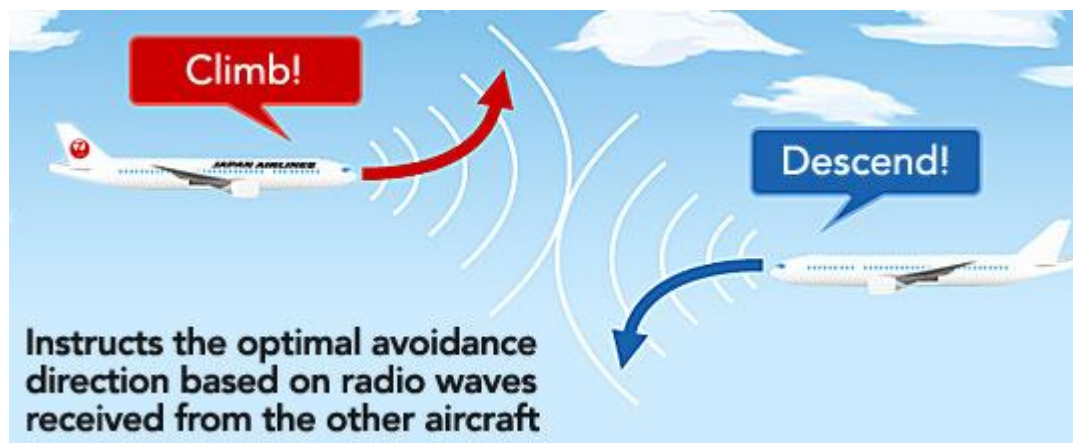
[https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne Collision Avoidance System \(ACAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_(ACAS))
(01.09.2018.)

Nakon što piloti ispoštuju upozorenja sustava, konflikt se uspješno sprječava što je prikazano slikom 33.

⁵⁴ ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. 4, p. 4-3

⁵⁵ Ibid., p.4-5

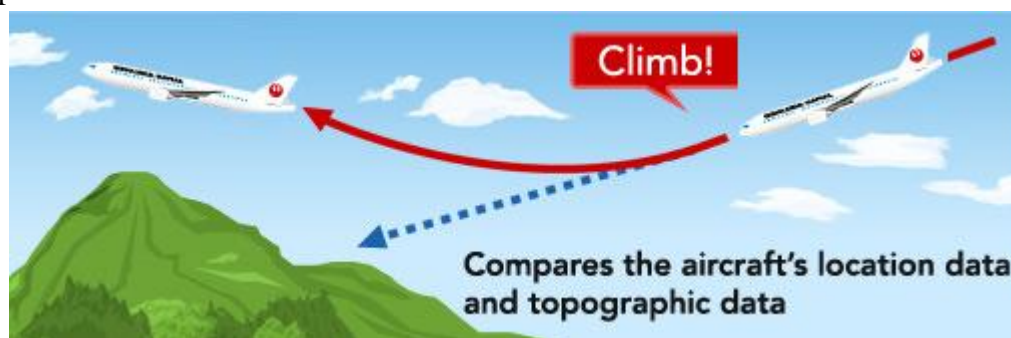
⁵⁶ [https://www.skybrary.aero/index.php/ACAS Resolution and Traffic Advisories](https://www.skybrary.aero/index.php/ACAS_Resolution_and_Traffic_Advisories) (01.09.2018.)



Slika 33. Izbjegavanje sudara u zraku

Izvor: <https://www.jal.com/en/flight/safety/equipment/tcas.html> (01.09.2018.)

2. Sustav za upozoravanje o blizini zemlje/tla (*Ground Proximity Warning System – GPWS*)⁵⁷ koji upozorava pilota da se zrakoplov nalazi u opasnoj blizini terena. Upozorenje se kreira na temelju očitavanja lokacije zrakoplova i topografskih podataka dobivenih sa satelita.⁵⁸ Primjer je prikazan slikom 34.



Slika 34. Izbjegavanje udara u teren

Izvor: <https://www.jal.com/en/flight/safety/equipment/egpws.html> (01.09.2018.)

Uz navedene sustave, postoje i sustavi na čijem se razvijanju još uvijek radi. Primjerice, sustav zaštite od premašivanja uzletno-sletne staze (*Runway Overrun Protection System – ROPS*) koji daje projekciju mjesta zaustavljanja aviona u mokrim i suhim uvjetima.⁵⁹

Usprkos naprednoj tehnologiji, u današnje vrijeme i dalje veliki sigurnosni problem predstavljaju preleti ptica u blizini aerodroma. Osim što direktno ugrožavaju sigurnost svih putnika u zrakoplovu, uzrokuju i velike štete na dijelovima aviona (trup, motori) te uzrokuju kašnjenja. Iz tog se razloga ugrađuju ptičji radari koji pomažu pri otkrivanju i uzbunjivanju o kritičnim kretanjima divljeg svijeta u blizini aerodroma.⁶⁰

⁵⁷ [http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_\(TAWS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(TAWS)) (19.06.2018.)

⁵⁸ <https://www.jal.com/en/flight/safety/equipment/egpws.html> (01.09.2018.)

⁵⁹ http://www.skybrary.aero/index.php/Runway_Overrun_Prevention_System (19.06.2018.)

⁶⁰ Thales Air Systems, Air Traffic Management: A Guide to Global Surveillance, p. 56

Uz ptice, štetu na zrakoplovu pri polijetanju i slijetanju mogu uzrokovati i strani objekti na uzletno-sletnoj stazi (*Foreign Object Damage – FOD*). Najčešće se, uz životinje, radi o komadima zrakoplova i dijelovima opreme zrakoplova koji je prije prošao uzletno-sletnom stazom. Ranije se FOD otkrivao uglavnom fizičkim pregledom uzletno-sletne staze, no kako to često, uslijed velikog intenziteta prometa nije moguće, implementirani su radar (tzv. FODetect) koji su kolocirani s rubnim svjetlima uzletno-sletne staze te neprekidno skeniraju površinu uzletno-sletne staze i uzbujuju jedinice zadužene za održavanje površine uzletno-sletne staze čistom, o točnoj lokaciji objekta koji treba ukloniti.⁶¹

Još jedan od efikasnih načina povećanja kapaciteta zrakoplova u slijetanju i polijetanju je umanjivanje separacije zrakoplova uslijed stvaranja vrtložnih poremećaja. Iako su trenutni propisi vrlo rigorozni, isti se mogu reducirati ugradnjom efikasnih sustava za otkrivanje vrtloga po slijetanju i polijetanju zrakoplova kako bi bilo moguće pravovremeno upozoriti sljedeći zrakoplov na postojanje istih, s obzirom da učinci vrtloga na zrakoplov nisu lako ispravljivi za pilota, ali niti za autopilot. Takve je radare poželjno implementirati zajedno s meteorološkim radarima koji otvaraju mogućnosti za pravovremeno obavješćavanje uslijed naglih promjena vremenskih pojava na malom prostoru oko zračne luke, koje trenutni sustavi koji se koriste, a to su najčešće meteorološki radari državnih meteoroloških zavoda, ne mogu precizno utvrditi.⁶²

⁶¹ Thales Air Systems, *Air Traffic Management: A Guide to Global Surveillance.*, p. 58

⁶² *Ibid.*, p. 60

6 ZAKLJUČAK

Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi u svakodnevnoj su uporabi u zračnoj plovidbi. Uzevši u obzir konstantan rast zračnog prometa, teško je i zamisliti situaciju da bilo koji od ovih sustava nije u upotrebi ili ne funkcionira. Korisnici, i u zraku i na Zemlji oslanjaju se na međusobnu interakciju sustava kako bi bilo moguće interpretirati stanje i raspoređenost zrakoplova u zraku. Zrakoplovi se kreću velikim brzinama u odnosu na ostala prijevozna sredstva i ne bi bilo moguće održavati sigurnost na prihvatljivoj razini temeljenoj na zaprimljenim vizualnim informacijama. Čak niti u savršenim meteorološkim uvjetima, izuzevši mogućnost ljudske pogreške.

Gledajući na različitosti u kulturi, jeziku i općenito među ljudima, iznimno je važno postojanje međunarodnog tijela koje nadzire i regulira načine i vrste komunikacije na globalnoj razini. Svijet je u današnje vrijeme postao „globalno selo“ te je velik postotak interkontinentalnih letova gdje su te razlike još uočljivije. Lako je za pretpostaviti da bi, bez unificiranosti jezika i načina komunikacije, ali i primjene novih tehnologija, broj konflikata ili opasnih situacija bio daleko veći. Uz samu unificiranost jezika, potrebno je razvijati i tehničku opremu kako bi se našli efikasni i pouzdani sustavi te se komunikacija između posade i kontrolora zračnog prometa svela na potrebni minimum. Ponajviše iz razloga ometanja posade koja se može više posvetiti svom okruženju i izvedbi leta. Bilo bi idealno kada bi se sva komunikacija vršila između zemaljskih stanica. Zemaljske stanice razmjenjuju podatke o letu, dok bi se pilotu, po mogućnosti podatkovnim prijenosom trebale slati samo jednostavne naredbe u slučaju izvanrednih situacija. Iako se teži razvoju potpuno automatskih sustava, bit će potrebno još dogledno vrijeme prije nego će posade sve nužne informacije dobiti digitalno, na ekranima u zrakoplovu i time isključiti potrebu usmene komunikacije. Činjenica koja svakako djeluje ohrabrujuće je to da se u zračnom prometu sve promjene uvode postepeno i dovoljnom brzinom, kako bi se sustav testirao i minimizirala mogućnost propusta koji bi doveo do katastrofe.

Korištenje sve preciznijih sustava detektiranja položaja u realnom vremenu s primjenom novih metoda navigiranja ne samo da olakšava putovanje od točke A do točke B, već omogućuje zrakoplovnim kompanijama izračun rute putovanja uzimajući u obzir stalne vjetrove, izvanredne meteorološke prilike te najkraće udaljenosti između dvije točke. Navedenim je moguće ostvariti znatne uštede goriva, što ima i financijsku i ekološku prednost. Kao i kod komunikacijskih usluga, vrlo je važno postojanje generalnog upravnog tijela koje omogućuje regulaciju i implementaciju propisa koji vrijede za svakog zrakoplovnog prijevoznika, kao i pružatelja usluga u zračnom prometu. To je posebno važno uzevši u obzir činjenicu da se danas proizvode zrakoplovi s vrlo velikim doletima te kao takvi prolaze područjima različite tehnološke infrastrukture. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva za cilj postavlja implementirati nove sustave uz suradnju s lokalnom zajednicom kako bi svaka regija bila pokrivena barem minimalnom potrebitom infrastrukturom. Iako je naravno bez infrastrukture, odnosno opreme, nemoguće služiti se navigacijom, vrlo važan faktor je u planiranju samog putovanja i izvršavanju pojedinih

operacija. Koriste se operacije poput kontinuiranog penjanja i spuštanja, a prostorom navigira uz pomoć zamišljenih točaka kojima je pozicija poznata. Navedenim se procedurama olakšava krstarenje zračnim prostorom uz uštede goriva i smanjenje buke. U finalnom prilazu uzletno-sletnoj stazi, navigacijska oprema olakšava pilotu slijetanje navođenjem pilota prema središtu uzletno-sletne staze. Zahvaljujući spomenutim procedurama, uvelike se povećava sigurnost putnika, zrakoplova i okoline, a ujedno se ubrzava proces slijetanja što je vrlo važno u sredinama s gustim prometom.

Postoje mnogi zemaljski sustavi navigacije i nadzora, ali naglasak se stavlja na dodatni razvoj satelitskih tehnologija koje su globalno dostupne. Fleksibilnost satelitskih sustava posebice se uočava u zračnim prostorima iznad oceana gdje je instalacija zemaljskih stanica ili nemoguća, ili financijski neisplativa. U današnje se vrijeme još uvijek nije moguće u potpunosti osloniti na satelitske sustave zbog nedostatne preciznosti. Spomenuti sustavi će se uglavnom koristiti zajedno sa zemaljskim sustavima dok se ne dostigne zadovoljavajuća preciznost i sigurnost u korištenju istih. Zemaljske se stanice još uvijek, u visokom udjelu, koriste u nadzornim uslugama, ponajviše zbog njihove arhitekture i dosadašnje pouzdanosti. Nadzorne sustave najviše koriste, dakako, kontrolori zračnog prometa zajedno sa softverom za prepoznavanje mogućih konflikata kako bi reakcija bila pravovremena. U slučaju da svi sustavi zakažu, do izražaja dolaze dodatni sigurnosni sustavi na samom zrakoplovu čiji je krajnji cilj izbjegavanje konflikata (u zraku ili sa terenom). Navedeno je moguće postići pravovremenim upozoravanjem kontrolora zračnog prometa i upozoravanjem i instruiranjem same posade o potencijalno riskantnoj situaciji. Organizacija igra vrlo važnu ulogu i u nadzoru zračnog prometa. Tako se za redovne letove rute planiraju i do godinu dana unaprijed uz redovito ažuriranje vezano za aktualne promjene u zračnom prometu. Spomenute promjene su vrlo česte. Dolazi do poremećaja u zračnom prometu izazvanima zagušenjima zbog prevelike gustoće zračnog prometa, meteoroloških promjena i zakašnjenja izazvanih ljudskom pogreškom. Uz kvalitetno planiranje, moguće je smanjiti zagušenja u zračnom prometu te operativnim procedurama povećati protok zračnog prometa.

Kako prilikom operacija koje neposredno prethode polijetanju i slijetanju postoji mnogo opasnosti, razvijeni su dodatni sustavi koji povećavaju sigurnost samog zrakoplova. Opasnosti uključuju prelete ptica u blizini aerodroma, ostatke drugih prijevoznih sredstava i otpatke na manevarskim površinama, ali i vrtložne turbulencije uzrokovane drugim zrakoplovima u blizini. Za svaku od navedenih opasnosti razvijaju se sustavi koji bi pravovremeno ukazali na postojanje opasnosti i spriječili eventualnu katastrofu.

Iako postoje mnogobrojni sustavi, pogreške se i dalje događaju te su potrebna daljnja ulaganja u razvijanje tehnologija za komunikacijske, navigacijske, nadzorne i ostale sigurnosne sustave. U zračnom se prometu vrlo velika važnost pridodaje sigurnosti i sprječavanju nezgoda i opasnih situacija. Razvijaju se višegodišnji planovi unaprjeđenja tehnologije i procedura i to ponajviše u svrhu dodatnog povećanja sigurnosti. Putovanja zrakoplovom postala su svakodnevica i zračni je promet na globalnoj razini u porastu. Upravo je iz tog razloga vrlo važno planski razvijati sustave, tehnologije, infrastrukturu i operativne procedure. Dakako, sam razvoj je na globalnoj razini lakše postići ujednačavanjem propisa

jedne krovne organizacije kao što je ICAO. Kako je zračni promet i generator gospodarskog rasta, svim je državama članicama u interesu što prije investirati u praktičnu primjenu propisa ulaganjem u infrastrukturu i obukom zaposlenika i korisnika. Na navedeni se način osigurava uspješno nošenje s povećanjem potražnje, bez smanjenja sigurnosti i efikasnosti. Naprotiv, postavljaju se temelji za još veće mogućnosti i još ubrzaniji rast zračnog prometa.

Pravilnim ulaganjem, suradnjom, planiranjem i implementacijom propisa i preporuka dolazi se do mogućnosti napretka u svim segmentima zračnog prometa. Također, spomenuti napredak ne znači smanjenje sigurnosti, već naprotiv, proizlazi iz same činjenice povećanja sigurnosti i efikasnosti zračnog prometa. Usklađivanjem i automatizacijom komunikacijskih, navigacijskih, nadzornih i ostalih sigurnosnih sustava izvanredne situacije izazvane ljudskom greškom ili greškom na navedenim sustavima svode se na najmanji mogući teoretski minimum te tako svima omogućuju bezbrižnu i sigurnu zračnu plovību.

POPIS LITERATURE

1. Eurocontrol, Airspace Concept Workshop, *What is Area Navigation?*, 2017.
2. Federal Aviation Administration: Federal Aviation Regulations/Aeronautical Information Manual, Skyhorse Publishing Inc., 2009.
3. ICAO: *2016-2030 Global Air Navigation Plan*, 2016.
4. ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. I, 2006.
5. ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. II, 2001.
6. ICAO: Annex 10, *Aeronautical Telecommunications*, Vol. IV, 2014.
7. ICAO: Doc 4444, *Air Traffic Management*, 2007
8. ICAO: Doc 9613, *Performance-based Navigations (PBN) Manual*, 2008.
9. ICAO, Nagle J., *Global Air Navigation System: CNS Elements*, 2009.
10. Kayton M., Fried W., R: *Avionics Navigation Systems*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
11. Kingsley S., Quegan S.: *Understanding Radar Systems*, SciTech Publishing Inc., 1999.
12. Thales Air Systems, *Air Traffic Management: A Guide to Global Surveillance*, 2012.
13. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17633> (02.09.2018.)
14. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51511> (02.09.2018.)
15. <https://www.eurocontrol.int/articles/amc-and-european-aeronautical-fixed-service-afs> (02.09.2018.)
16. <http://www.eurocontrol.int/articles/air-traffic-services-message-handling-system-amhs-specification> (02.09.2018.)
17. <https://www.youtube.com/watch?v=kcBrKd55NUc&t=3s> (02.09.2018.)
18. Flightradar24, screenshot, <https://www.flightradar24.com/UAE207/e194a07> (16.07.2017.)
19. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=45614> (02.09.2018.)
20. <http://www.airwaysmuseum.com/ML%20T73A%20DVOR%2007.htm> (03.09.2018.)
21. https://www.aopa.org/-/media/images/aopa-main/news-and-media/publications/flight-training-magazine/1801f/1801f_hiw/1801f_hiw_16x9.jpg (31.08.2018.)
22. <http://www.flightlearnings.com/2012/08/02/course-deviation-indicator-cdi/> (31.08.2018.)
23. <https://www.mathworks.com/help/map/navplan1.png> (02.09.2018.)
24. <http://www.aeroexpo.online/prod/systems-interface-limited/product-180831-25161.html> (03.09.2018.)
25. <http://kartverket.no/efs-documents/editions/2015/efs01-2015.pdf>, p. 26 (02.09.2018.)
26. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_satellite_navigation_orbits.svg (02.09.2018.)
27. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks/ (02.09.2018.)

28. https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/usersegments/aviation/ (02.09.2018.)
29. https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Navigation_Systems (31.08.2018.)
30. <http://static.landingssystem.com/thumbs/ground-equipment-position.jpg> (02.09.2018.)
31. http://www.split-airport.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=160&Itemid=115&lang=en (02.09.2018.)
32. <http://www.crocontrol.hr/default.aspx?id=36> (02.09.2018.)
33. <https://www.eurocontrol.int/articles/continuous-climb-and-descent-operations> (01.09.2018.)
34. <http://www.sustainableaviation.co.uk/what-we-are-doing/> (14.06.2018.)
35. <http://www.flightradar.eu/squawkcodes.html#7000> (01.09.2018.)
36. http://www.oocities.org/rjt02/images/aircraft_tag.jpg (02.09.2018.)
37. http://glossary.ametsoc.org/wiki/Ground-controlled_approach (02.09.2018.)
38. <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/atc/> (02.09.2018.)
39. <https://www.skybrary.aero/index.php/Transponders> (01.09.2018.)
40. https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S (01.09.2018.)
41. <https://www.skybrary.aero/index.php/Multilateration> (03.09.2018.)
42. https://www.skybrary.aero/index.php/Radar_Identification (03.09.2018.)
43. <http://www.eurocontrol.int/safety-nets> (02.09.2018.)
44. https://www.skybrary.aero/index.php/Safety_Nets (02.09.2018.)
45. [http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_\(T_AWS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(T_AWS)) (02.09.2018.)
46. <http://www.eurocontrol.fr/projects/edep/demo/spd/Tools/STCA/STCA.htm> (01.09.2018.)
47. http://www.skybrary.aero/index.php/Short_Term_Conflict_Alert_%28STCA%29 (02.09.2018.)
48. https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Proximity_Warning (01.09.2018.)
49. http://www.skybrary.aero/index.php/Minimum_Safe_Altitude_Warning_%28MSAW%29 (02.09.2018.)
50. <http://aireform.com/minimum-safe-altitude-warning-msaw/> (01.09.2018.)
51. http://www.skybrary.aero/index.php/Approach_Path_Monitor (02.09.2018.)
52. [https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_\(ACAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Airborne_Collision_Avoidance_System_(ACAS)) (01.09.2018.)
53. https://www.skybrary.aero/index.php/ACAS_Resolution_and_Traffic_Advisories (01.09.2018.)
54. <http://www.eurocontrol.int/acas> (02.09.2018.)
55. <https://www.jal.com/en/flight/safety/equipment/tcas.html> (01.09.2018.)
56. [http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_\(T_AWS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(T_AWS)) (02.09.2018.)
57. <https://www.jal.com/en/flight/safety/equipment/egpws.html> (01.09.2018.)
58. http://www.skybrary.aero/index.php/Runway_Overrun_Prevention_System (02.09.2018.)

POPIS KRATICA

ABS – (Aeronautical Broadcasting Service) - zrakoplovne emisije
ACAS – (Airborne Collision Avoidance System) - sustav za izbjegavanje sudara u zraku
ADF – (Automatic Direction Finder) – radiokompas na zrakoplovu usmjeren prema NDB-u
ADS-B – (Automatic dependent surveillance – broadcast) – sustav za automatski zavisni nadzor
ADS-C – (Automatic dependent surveillance – contract) – sustav za automatski zavisni nadzor temeljen na sporazumima
AFS – (Aeronautical Fixed Service) - zrakoplovna fiksna usluga
AFTN – (Aeronautical Fixed Telecommunication Network) - zrakoplovna fiksna telekomunikacijska mreža
AMS – (Aeronautical Mobile Service) - zrakoplovna pokretna usluga
APM – (Approach Path Monitor) - sustav za praćenje prilazne putanje zrakoplova
APW – (Area Proximity Warning) - sustav za upozoravanje na približavanje zračnom prostoru
ARNS – (Aeronautical Radio Navigation Service) - zrakoplovna radio navigacijska usluga
ASBU – (The Aviation System Block Upgrades) – metodologija unaprijeđenja avijacijskog sustava preko blokova
ASR – (Airport Surveillance Radar) – aerodromski nadzorni radar
ATN – (Aeronautical Telecommunication Network) – zrakoplovna telekomunikacijska mreža
ATIS – (Automatic Terminal Information Service) – usluga automatskog informiranja na dolaznoj zračnoj luci
ATSMHS – (Air Traffic Services Message Handling Services) - Služba za rukovanje porukama
CAVOK – (Ceiling and Visibility OK) - Visina baze oblaka i vidljivost OK
CCO – (Continuous Climb Operations) – operacije kontinuiranog penjanja
CDO – (Continuous Descent Operations) – operacije kontinuiranog spuštanja
CIDIN – (Common ICAO Data Interchange Network) - Mreža za razmjenu općih ICAO podataka
CPDLC – (Controller Pilot Data-Link Communication) – Komunikacija između kontrolora zračnog prometa i pilota putem podatkovne veze
DME – (Distance Measuring Equipment) – daljinomjerni uređaj
ELS – (Elementary Surveillance) – osnovni nadzor
EHS - (Enhanced Surveillance) – poboljšani nadzor
FOD – (Foreign Object Damage) – oštećenje nepoznatim objektom
GANP – (Global Air Navigation Plan) – Globalni plan zračne navigacije
GCA – (Ground Controlled Approach) – sustav za prilaz i slijetanje
GLONASS – (Globalnaja Navigacionaja Sputnjikova Sistema)
GNSS - (Global Navigation Satellite System)
GPS - (Global Positioning System)
GPWS – (Ground Proximity Warning System) – sustav za upozoravanje o blizini tla
GS – (Glide Slope) - odašiljač putanje poniranja
HF – (High Frequency) – visoka frekvencija

IATS – (International Aeronautical Telecommunication Service) – Međunarodna zrakoplovna telekomunikacijska služba
 ICAO – (International Civil Aviation Organization) - Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
 ICC – (Inter-centre Communication) - mreža za komunikaciju između centara
 IM – (Inner Marker) – unutarnji radiomarker
 LF – (Low Frequency) – niska frekvencija
 LLZ – (Localizer) - odašiljač prilaznog pravca
 MF – (Medium Frequency) – srednja frekvencija
 MM – (Middle Marker) – srednji radiomarker
 MSAW – (Minimum Safe Altitude Warning) – sustav za upozoravanje na minimalnu visinu
 NDB – (Non Directional Beacon) – neusmjereni radiofar
 NOTAM – (Notice to Airmen) – obavijesti zrakoplovnom osoblju
 OM – (Outer Marker) – vanjski radiomarker
 PAR – (Precision Approach Radar) – radar za precizni prilaz
 PBN – (Performance Based Navigation) – navigacija bazirana na performansama zrakoplova
 PSR - (Primary Surveillance Radar) – primarni nadzorni radar
 RA – (Resolution Advisory) – savjet rješenja
 RADAR – (Radio Detect And Ranging) – radijsko otkrivanje i svrstavanje
 RNAV – (Area Navigation) – prostorna navigacija
 RNP – (Required Navigation Performance) – zahtijevane navigacijske performanse
 ROPS - (Runway Overrun Protection System) - sustav zaštite od premašivanja uzletno-sletne staze
 SBAS – (Satellite Based Augmentation Systems) – satelitski sustavi unaprijeđenja
 SSR – (Secondary Surveillance Radar) – sekundarni nadzorni radar
 STCA – (Short Term Conflict Alert) - sustav za upozoravanje o konfliktu u kratkom roku
 TA – (Traffic Advisory) – prometni savjet
 TCAS – (Traffic Alert And Collision Avoidance System) - sustav za upozoravanje u prometu i izbjegavanje sudara
 TIS-B – (Traffic Information Service – Broadcast) – usluga pružanja informiranja o prometu
 VHF – (Very High Frequency) – vrlo visoka frekvencija
 VOR – (VHF Omnidirectional Range) – svesmjerni radiofar
 WAM – (Wide Area Multilateration) – širokopojasna multilateracija

Slika 1. Elektromagnetski val.....	2
Slika 2. Spektar elektromagnetskih valova	3
Slika 3. Trenutno stanje infrastrukture komunikacijskih sustava	4
Slika 4. Buduće stanje infrastrukture komunikacijskih sustava	4
Slika 5. Ruta leta između Dubaija i New Yorka	12
Slika 6. Razlika u udaljenostima po ortodromi i loksodromi.....	13
Slika 7. Trenutno stanje infrastrukture navigacijskih sustava.....	13
Slika 8. Buduće stanje infrastrukture navigacijskih sustava	14
Slika 9. Antena NDB-a.....	15
Slika 10. Pokazivač smjera NDB-a u zrakoplovu	15
Slika 11. Antene VOR i DME sustava.....	16
Slika 12. Prikaz udaljenosti mjerene DME uređajem	16
Slika 13. Pokazivač VOR-a u zrakoplovu.....	17
Slika 14. Korištenje prostorne navigacije	17
Slika 15. Raspored satelitskih sustava u Zemljinoj orbiti	18
Slika 16. Sustav za instrumentalno slijetanje	21
Slika 17. Primjer podjele GANP-a prema blokovima.....	23
Slika 18. Podjela navigacijskih specifikacija	24
Slika 19. Primjena navigacijske specifikacije u kreiranju planova leta	24
Slika 20. Operacija kontinuiranog spuštanja.....	25
Slika 21. Trenutno stanje infrastrukture nadzornih sustava	27
Slika 22. Buduće stanje infrastrukture nadzornih sustava.....	27
Slika 23. Refleksija emitiranog impulsa	28
Slika 24. Princip rada sekundarnog radara	29
Slika 25. Prikaz zrakoplova na radaru kontrolora zračnog prometa	30
Slika 26. Princip rada multilateralnog nadzora	31
Slika 27. Princip rada ADS-B sustava	33
Slika 28. Analiza zaprimljenih podataka od svih zrakoplova	34
Slika 29. Prikaz upozorenja o konfliktu	36
Slika 30. Sustav za upozoravanje na minimalnu visinu	37
Slika 31. Sustav za praćenje prilazne putanje	37
Slika 32. Sustav za izbjegavanje sudara u zraku	38
Slika 33. Izbjegavanje sudara u zraku	39
Slika 34. Izbjegavanje udara u teren	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste AFTN poruka.....	6
Tablica 2. Poruke u zrakoplovnoj pokretnoj usluzi.....	8
Tablica 3. Fonetska abeceda u zrakoplovnoj komunikaciji	9
Tablica 4. Izgovor brojeva u zrakoplovnoj komunikaciji	9
Tablica 5. Primjeri identifikacijskih kodova	30
Tablica 6. Podjela nadzornih sustava	35



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu Završnog rada

pod naslovom KOMUNIKACIJSKE, NAVIGACIJSKE I NADZORNE USLUGE U
ZRAČNOJ PLOVIDBI

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 05.09.2018.

Student/ica:

Ivan Aleksić

(potpis)